Д. А. Кругликов



Электрические схемы портативных магнитофонов



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 613

Д. А. КРУГЛИКОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОРТАТИВНЫХ МАГНИТОФОНОВ





ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1966 ЛЕНИНГРАД

УДК 681.846.7
К84

Рассматриваются схемы усилителей и генераторов на транзисторах, используемых в портативных магнитофонах. Даны некоторые типы индикаторов уровня записи и их практические схемы.

Книга рассчитана на радиолюбителей, знакомых с физическими основами магнитной звукозаписи и интересующихся конструированием магнитофонов.

Кругликов Дмитрий Аронович
Электрические схемы портативных магнитофонов.
М.—Л., изд-во „Энергия“, 1966. 56 стр. с илл.
(Массовая радиобиблиотека. Вып. 613)

3-4-5
378-66

Редактор *В. Г. Корольков* Техн. редактор *Н. С. Мазурова*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 8/I 1966 г. Подписано к печати 10/VI 1966 г.
Т-07158 Бумага типографская мелованная 84×108 $^1/_{32}$ Печ. л. 2,94 Уч.-изд. л. 3,87
Тираж 50 000 экз. Цена 17 коп. Заказ 2024

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Применение в магнитофонах полупроводниковых приборов позволяет существенно сократить их габариты и вес, а также значительно уменьшить мощность, потребляемую от источников питания. Это особенно важно для портативных магнитофонов, позволяющих вести запись и воспроизведение на ходу, в автомашине, при производстве любительской киносъемки и т. п.

В этой книге рассматриваются основные узлы портативных магнитофонов, их назначение и требования, предъявляемые к ним при конструировании. Основное внимание при этом уделяется построению, а в некоторых случаях и расчету схем. Кроме того, дается ряд практических схем усилителей, генераторов, индикаторов уровня записи и регуляторов числа оборотов миниатюрных электродвигателей постоянного тока, в которых приводятся конкретные данные деталей и рекомендуются те или иные типы транзисторов.

Приведенные в книге схемы построены с таким расчетом, чтобы в них можно было применить транзисторы с большим разбросом параметров. Это в значительной мере облегчает изготовление и налаживание магнитофона в любительских условиях.

Д. Кругликов

ГЛАВА ПЕРВАЯ

БЛОК-СХЕМЫ ПОРТАТИВНЫХ МАГНИТОФОНОВ

Портативные магнитофоны это маголабаритные переносные магнитофоны, питаемые от собственных источников питания, электрические схемы которых, как правило, собраны на транзисторах, а в лентопротяжных механизмах применены миниатюрные электродвигатели постоянного тока. К портативным магнитофонам можно отнести и те, которые рассчитаны на питание от собственных источников

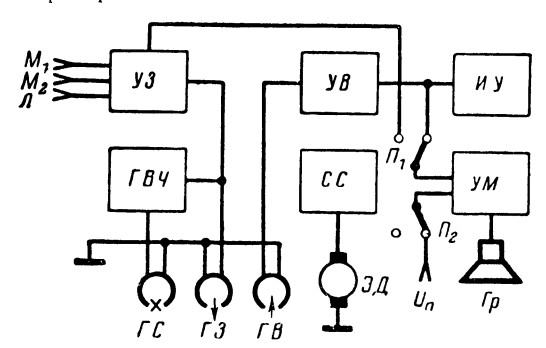


Рис. 1. Блок-схема профессионального репортажного магнитофона.

и сети переменного тока, а также на питание от автомобильного аккумулятора (при установке магнитофона в автомобиле).

Блок-схемы портативных магнитофонов в большинстве случаев не отличаются от обычных блок-схем магнитофонов широкого применения.

Наиболее широкое распространение получили две блок-схемы: с раздельными усилителями записи и воспроизведения и с универсальным усилителем. Портативные магнитофоны с раздельными усилителями, как правило, имеют профессиональное назначение и используются для репортажных записей.

Блок-схема магнитофона с раздельными усилителями записи и воспроизведения приведена на рис. 1. Входной сигнал с одного или двух микрофонов M_1, M_2 или линии $Л$ поступает на усилитель запи-

си *УЗ*. При записи усиленные и частотно-скорректированные сигналы поступают на записывающую головку *ГЗ*. В магнитофоне имеется высокочастотный генератор *ГВЧ*, обеспечивающий высокочастотное подмагничивание магнитной ленты и в большинстве случаев стирание старых записей. Иногда с целью экономии источников питания генератор высокой частоты делают маломощным, обеспечивающим только высокочастотное подмагничивание, а запись производят на предварительно размагниченной ленте. В блок-схеме такого магнитофона отсутствует головка стирания.

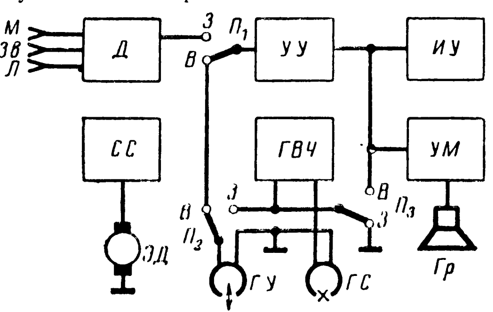


Рис. 2. Блок-схема портативного магнитофона с одним универсальным усилителем.

Сигнал, воспроизводимый головкой воспроизведения *ГВ*, поступает на усилитель *УВ*, в котором осуществляется необходимое усиление и частотная коррекция. На его выходе включен индикатор уровня записи. Помимо этого, сигнал с выхода усилителя воспроизведения поступает на выходной усилитель, что позволяет прослушивать записи через громкоговоритель *Гр*.

При записи с микрофона прослушивание осуществляется на головные телефоны, включаемые на выход усилителя воспроизведения, при этом выходной усилитель переключателем $П_2$ отключается от источника питания. Для контроля записываемого и записанного сигналов на блок-схеме имеется переключатель $П_1$, с помощью которого выходной усилитель подключается или к усилителю записи, или к усилителю воспроизведения.

Часто для экономии источников питания, уменьшения габаритов и веса магнитофона (например, в репортажных магнитофонах) выходной усилитель и встроенный громкоговоритель не применяют. Контроль записи и прослушивание в этом случае осуществляют через головные телефоны.

Кроме рассмотренных элементов, на блок-схеме изображен узел стабилизации скорости движения магнитной ленты *СС*.

Вторая блок-схема приведена на рис. 2. В этой блок-схеме используется один общий универсальный усилитель *УУ*, который в зависимости от режима работы выполняет функции либо усилителя записи, либо усилителя воспроизведения. Универсальная головка *ГУ* предназначена как для записи, так и для воспроизведения. Данная схема значительно проще предыдущей. Источники звуковой частоты микрофон *М*, линия *Л*, звукосниматель *Зв* подключаются в соот-

ветствующие гнезда схемы. Специальный делитель *Д* приводит напряжения, создаваемые этими тремя источниками, к одному уровню (обычно к уровню напряжения, развиваемого микрофоном).

С выхода делителя сигнал через переключатель $П_1$ поступает на вход универсального усилителя, с выхода которого подается через переключатель $П_2$ и $П_3$ на универсальную головку *ГУ*. На эту же головку в режиме записи от высокочастотного генератора *ГВЧ* подается напряжение подмагничивания. В том случае, если в магнитофоне предусмотрено стирание, напряжение с генератора подается в режиме записи и на стирающую головку *ГС*.

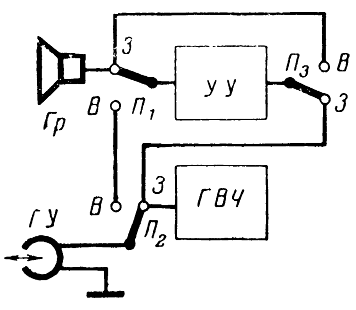


Рис. 3. Блок-схема портативного диктофона.

В режиме воспроизведения универсальная головка через переключатели $П_1$ и $П_2$ подключается на вход универсального усилителя, который производит усиление и частотную коррекцию усиливаемого сигнала. С выхода универсального усилителя сигнал поступает на входы индикатора уровня записи *ИУ* и выходного усилителя *УМ*. Запись с микрофона осуществляется аналогично записи в первой блок-схеме (рис. 1).

Помимо этих основных блок-схем, на практике в простых диктофонах и «звуковых блокнотах» используется блок-схема, показанная на рис. 3. Универсальный усилитель, вход которого подключается либо к универсальной головке, либо к встроенному малогабаритному динамическому громкоговорителю, который в режиме записи работает в качестве микрофона. При воспроизведении к выходу универсального усилителя подключается громкоговоритель.

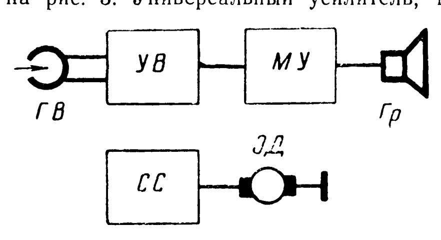


Рис. 4. Блок-схема воспроизводящего магнитофона.

В схеме предусмотрен высокочастотный генератор, служащий лишь для подмагничивания ленты. Для упрощения магнитофона частотная характеристика универсального усилителя при переходе с записи на воспроизведение не изменяется, индикатор уровня отсутствует. Такое упрощение возможно в связи с тем, что подобные магнитофоны предназначены только для воспроизведения записей, сделанных главным образом на данном магнитофоне.

Примером блок-схемы портативного магнитофона, предназначенного только для воспроизведения записи (автомобильный магнитофон), может служить схема, приведенная на рис. 4. В магнитофоне имеется одна головка воспроизведения, усилитель воспроизведения и мощный усилитель.

Подводя итоги, можно придти к заключению, что все блок-схемы портативных магнитофонов состоят из небольшого числа типовых

узлов усилителей воспроизведения, записи, универсальных выходных усилителей, генераторов высокой частоты, индикаторов уровня записи и узлов стабилизации скорости ленты.

В последующих глав мы рассмотрим подробно устройство каждого из этих узлов.

ГЛАВА ВТОРАЯ

УСИЛИТЕЛИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Назначение и особенности усилителей воспроизведения

На усилители воспроизведения возлагаются две основные задачи — усиление сигналов, получаемых от воспроизводящей головки, и их частотная коррекция.

Выполнение указанных задач связано с определенными трудностями, преодоление которых и является специфической особенностью схем усилителей воспроизведения. Электродвижущая сила, развиваемая головкой воспроизведения на низких частотах звукового диапазона, даже у высокоомных воспроизводящих головок редко превышает 50—100 *мкв*. В связи с этим серьезной трудностью является достаточное перекрытие собственных шумов усилителя и головки. Из-за особенностей магнитной записи и воспроизведения частотная характеристика усилителя воспроизведения должна иметь своеобразный вид. Частотная коррекция велика и достигает 25—30 *дб*, особенно при малых скоростях движения магнитной ленты. Гармонические искажения в усилителе воспроизведения портативного магнитофона не должны превышать 1—2%.

Наиболее ответственным узлом усилителя воспроизведения является первый каскад, так как к нему предъявляют чрезвычайно жесткие требования по обеспечению необходимого превышения сигнала над собственным шумом входного транзистора и шумом головки.

Шум головки зависит от величины активного сопротивления обмоток, от потерь энергии в сердечнике и прокладке.

Расчет и практика показывают, однако, что шум головки намного меньше шума входного транзистора и в большинстве случаев им можно пренебречь.

В ламповых усилителях магнитофонов широкого применения воспроизводящая головка работает на высокоомную нагрузку (приближенно на сопротивление утечки первой лампы). Поэтому сопротивление головки и ее индуктивность практически не влияют на частотную характеристику усилителя.

В портативных магнитофонах, собранных на транзисторах, дело обстоит иначе. Входное сопротивление усилителя на транзисторах, если не принимаются специальные меры, относительно невелико. В связи с этим на высших частотах только часть э. д. с, развиваемая головкой, поступает на вход усилителя, что приводит к дополнительному завалу частотной характеристики усилителя в области этих частот. Поэтому в портативных транзисторных магнитофонах реко-

мендуется применять воспроизводящие или универсальные головки с индуктивностью от 20 до 60 *мгн*. Кроме того, как будет показано в следующей главе, индуктивность универсальной головки в таком магнитофоне не должна превышать 60 *мгн* и с точки зрения обеспечения необходимого тока записи при достаточно низковольтных источниках питания 6—12 *в*.

В портативном магнитофоне с раздельными усилителями записи и воспроизведения иногда применяют высокоомную воспроизводящую головку, развивающую большую э. д. с., но при этом специальными мерами в схеме добиваются высокого входного сопртивления усилителя по переменному току (не менее 0,5 *Мом*).

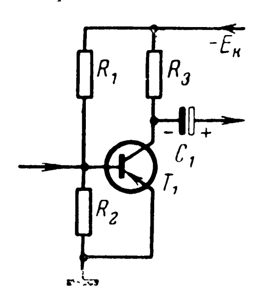


Рис. 5. Схема входного каскада с общим эмиттером.

Применение трансформаторной связи головки воспроизведения с входным усилителем в портативных магнитофонах на транзисторах мало оправдано, так как при этом появляются дополнительные шумы обмоток трансформатора. Кроме того, требуется тщательное экранирование входного трансформатора для уменьшения наводок на него со стороны лентопротяжного механизма.

Произведем выбор схемы первого каскада. При достаточно большом коэффициенте усиления первого каскада можно считать, что собственный шум его определяется лишь этим каскадом.

Коэффициент шума транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (рис. 5), определяется параметрами транзистора, режимом его работы, данными цепи смещения и внутренним сопротивлением воспроизводящей головки.

Величина сопротивления эмиттера $r_э$ определяется током эмиттера в рабочей точке. При окружающей температуре 20—30° С для маломощных низкочастотных транзисторов $r_э \approx \frac{25}{I_э} \cdot 10^{-3}$ *ом*. Минимум коэффициента шума будет при

$$r_{э.опт} \approx (R_г + r_б)\sqrt{1-\alpha},$$

где $R_г$ — внутреннее сопротивление головки воспроизведения;
$r_э$ и $r_б$ — собственно сопротивление эмиттера и базы транзистора;
α — коэффициент усиления по току.

Так, например, при $R_г = 0{,}4$ *ком*, $\alpha = 0{,}96$, $r_б = 100$ *ом* оптимальное сопротивление эмиттера равно 100 *ом*, а оптимальный эмиттерный ток равен 0,25 *ма*. Чем выше сопротивление головки воспроизведения, тем меньше оптимальный ток. В связи с тем, что в схеме приведенной на рис. 5, имеется цепь смещения базы транзистора, состоящая из сопротивлений резисторов R_1 и R_2, то вместо величины $R_г$ необходимо в приведенное выражение подставлять $R_{экв}$, которое находится из выражения

$$R_{экв} = \frac{R_г R_б}{R_г + R_б}.$$

где $R_б$ — сопротивление переменному току между базой и общим полюсом.

Если величина $R_г/R_б \ll 1$, то влиянием сопротивления $R_б$ на шумы усилителя можно пренебречь.

Величина коэффициента шума зависит также и от сопротивления головки воспроизведения. Наименьший коэффициент шума получается при оптимальном токе эмиттера и оптимальном сопротивлении головки Величина оптимального сопротивления головки воспроизведения не особенно критична и равна 0,5—1,5 *ком*. Эта величина соответствует входному сопротивлению каскада, собранному по схеме с общим эмиттером. Для указанной схемы условие согласования головки с входом усилителя близко к условию получения минимальных шумов усилителя. Однако согласовывать головку со входом усилителя по мощности невыгодно, так как это ведет к завалу частотной характеристики в области высших частот и требует дополнительной высокочастотной коррекции, что в свою очередь увеличивает шумы усилителя воспроизведения. Поэтому при применении высокоомных головок выгоднее первый каскад выполнять либо по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель), либо применять специальные меры по повышению входного сопротивления каскада.

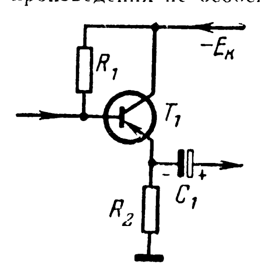


Рис. 6. Схема входного каскада с общим коллектором.

Рассмотрим входной каскад, собранный по схеме эмиттерного повторителя (рис. 6). Оптимальный (по минимуму шума) ток эмиттера и оптимальное сопротивление головки воспроизведения для такого каскада имеют те же значения, что и для ранее рассмотренной схемы. Коэффициент шума остается тем же самым, но при этом входное сопротивление может быть получено достаточно большими, что дает возможность применить высокоомную головку, обеспечивающую большую э. д. с. Это приводит к увеличению входного сигнала и позволяет уменьшить число каскадов усилителя или применить транзисторы с меньшим коэффициентом усиления β. Входное сопротивление каскада определяется известным выражением

$$R_{вх} = r_б + \frac{1}{\frac{1}{r_к} + \frac{1-\alpha}{r_э + R_н}}.$$

При увеличении коэффициента усиления по току увеличивается входное сопротивление каскада. С учетом сопротивления смещения базы R_1 входное сопротивление каскада равно:

$$R'_{вх} = \frac{R_{вх} R_1}{R_{вх} + R_1}.$$

Полное входное сопротивление каскада при $\alpha = 0{,}95$, $r_б = 100$ *ом*, $r_э = 250$ *ом*, $R_н = R_2 = 20$ *ком* (R_2 — сопротивление на схеме, приведенной на рис. 6), $R_1 = 300$ *ком* и $r_к = 200$ *ком* получается равным 100 *ком*. Для увеличения входного сопротивления в данной схеме

целесообразно применять кремниевые транзисторы, так как при германиевых транзисторах потребуется увеличивать коэффициент усиления по току β и сопротивление делителя в цепи базы, что понизит температурную стабильность каскада.

В связи с этим представляет интерес схема, в которой входное сопротивление первого каскада по переменному току достаточно велико при малом сопротивлении по постоянному току, что обеспечивает высокую температурную стабильность каскада (рис. 7).

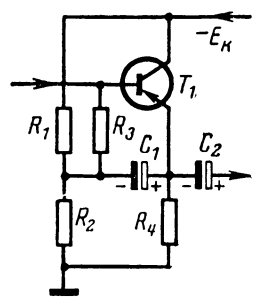


Рис. 7. Схема входного каскада с общим коллектором с повышенным входным сопротивлением по переменному току.

В этой схеме смещение на базу транзистора подается через дополнительный резистор R_3 со средней точки делителя R_1R_2, которая по переменному току через конденсатор C_1 соединена с эмиттером транзистора. Это приводит к резкому уменьшению падения переменного напряжения на резисторе R_3, что эквивалентно увеличению входного сопротивления в $(1+R_н/r_э)$ раз.

В рассмотренной схеме базовый делитель не шунтирует вход транзистора, а лишь уменьшает сопротивление нагрузки. При $R_н \approx R_4 = 20$ *ком* и $r_э = 250$ *ом* входное сопротивление увеличивается в 80 раз При $R_3 = 50$ *ком* оно достигает 4 *Мом*, в то время как входное сопротивление по постоянному току не превышает 100 *ком* Большое входное сопротивление каскада позволяет использовать любые высокоомные головки, применяемые в ламповых схемах.

Частотные характеристики усилителей воспроизведения и схемы частотной коррекции

Чтобы качество воспроизведения одной и той же записи на разных магнитофонах было по возможности одинаковым, частотные характеристики усилителей воспроизведения строго нормированы[1].

При идеальной головке воспроизведения (т. е. головке с неограниченно узким рабочим зазором и без потерь энергии в материале сердечника) характеристика усилителя воспроизведения должна совпадать с характеристикой изменения полного сопротивления цепи, составленной из последовательно соединенных конденсатора C и резистора R. Постоянная времени такой цепи $\tau = CR$ для разных скоростей движения магнитной ленты определена ГОСТ.

В частности, для магнитофонов со скоростями движения магнитной ленты 19,05, 9,53 и 4,76 *см/сек* постоянные времени соответственно равны: 70, 140 и 280 *мксек*. Такой способ задания частотной ха-

---

[1] Это не относится к диктофонам и миниатюрным магнитофонам, используемым в качестве «звукового блокнота».

рактеристики позволяет рассчитать ее ход в любом диапазоне, пользуясь формулой

$$Z=\sqrt{\tau^2+25\cdot10^9\frac{1}{f^2}},$$

где τ — постоянная времени эквивалентной цепи, *мксек*.

Подставив в формулу ряд значений частоты f и рассчитав соответствующие им Z, определяют их отношение к Z на частоте 1 000 *гц* $\left(20\lg\frac{Z}{Z_{1\,000}}\right)$.

В связи с тем, что применяемые головки воспроизведения отличаются от идеальных, особенно на высоких частотах, необходимо к рассчитанным частотным характеристикам прибавить дополнительную высокочастотную коррекцию. Величина ее зависит от скорости движения ленты и качества головок и определяется практически.

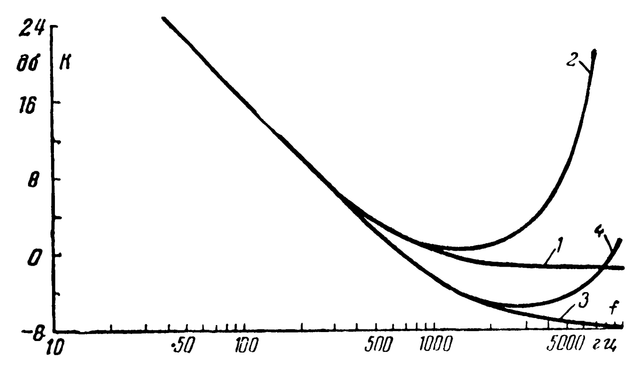


Рис. 8. Частотные характеристики усилителя воспроизведения.

1 и *3* — стандартизованные характеристики для скорости движения ленты 4,76 и 9,53 *см/сек* соответственно; *2* и *4* — характеристики для скорости движения ленты 4,76 и 9,53 *см/сек* соответственно.

На рис. 8 изображены суммарные частотные характеристики усилителя воспроизведения, необходимые для коррекции при скоростях движения ленты 9,53 и 4,76 *см/сек* при использовании магнитной головки с шириной рабочего зазора 3 *мк* (кривые *4* и *2*). Кроме того, на рисунке показаны характеристики усилителя при идеальной магнитной головке для тех же скоростей движения ленты (кривые *3* и *1*).

Рассмотрим ряд схем, позволяющих получить требуемую частотную характеристику в усилителе воспроизведения.

Первая из схем (рис. 9) с *LCR* делителем, включенным между первым и вторым (или вторым и третьим) каскадами усилителя воспроизведения. Контур L_1C_3 настраивают на верхнюю рабочую частоту или на несколько более высокую частоту. Благодаря действию цепи *RC* ($R_4R_6C_2$) осуществляется требуемый подъем нижних ча-

стот в усилителе воспроизведения. Если сопротивление R_4 во всем диапазоне рабочих частот остается намного большим полного сопротивления цепи R_6C_2 (первоначально действие контура L_1C_3 мы не будем рассматривать), то ток в цепи делителя не меняется с частотой. Напряжение, передаваемое на базу следующего транзистора, при этом условии пропорционально полному сопротивлению цепи R_6C_2. Выбрав постоянную времени этой цепи, равной постоянной времени, нормализованной для данной рабочей скорости движения ленты в качестве параметра частотной характеристики усилителя воспроизведения, мы получаем нужную нам характеристику в области нижних и средних частот.

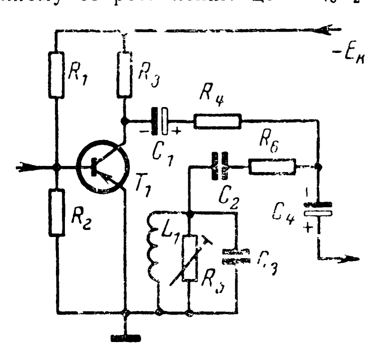


Рис. 9. Схема частотной коррекции с LCR делителем.

Для нормальной работы данной схемы необходимо, чтобы входное сопротивление следующего каскада с учетом делителя в цепи смещения базы транзистора было по крайней мере в 4—5 раз больше сопротивления коллекторной нагрузки первого каскада. Целесообразно поэтому второй каскад собрать по схеме эмиттерного повторителя. Сопротивление R_4 выбирают в 3—5 раз больше сопротивления коллекторной нагрузки первого каскада. Из условия $R_4 = \frac{3 \div 5}{\omega_н C_2}$ определяют C_2 и, наконец, R_6, так как $C_2R_6 = \tau$ коррекции. Емкость разделительного конденсатора C_1 выбирают, исходя из условия $\frac{1}{\omega_н C_1} = \frac{R_{вх}}{3}$, где $\omega_н$ — нижняя круговая частота полосы пропускания.

Рассмотрим теперь действие контура L_1C_3. Увеличение полного сопротивления между базой второго транзистора и корпусом по мере приближения частоты к резонансной вызывает значительный подъем частотной характеристики. Величина этого подъема регулируется переменным резистором R_5, включенным параллельно контуру. Что касается выбора L_1 и C_3, то, кроме того, что они должны обеспечить настройку контура на определенную частоту, следует иметь в виду, что чем больше отношение L_1/C_3, тем больше подъем характеристики и тем с более низких частот он начинается. Поэтому лучше всего выбор L_1 и C_3 производить экспериментально под ту головку воспроизведения, с которой будет работать усилитель.

Приведем расчет элементов RC делителя (рис. 9). Пусть сопротивление коллекторной нагрузки транзистора равно 3,6 *ком*, нижняя частота пропускания $f_н$ равна 50 *гц*, тогда, выбирая $R_4 = 18$ *ком*, получаем емкость $C_2 = 1{,}0$ *мкф*, а сопротивление R_6 для скорости движения ленты 9,53 и 4,76 *см/сек* соответственно 140 и 280 *ом*.

Схема с LCR делителем иногда осуществляется в несколько измененном виде с элементами коррекции в коллекторной цепи транзистора (рис. 10). Данная схема работает достаточно хорошо при

большом внутреннем сопротивлении транзистора и большом входном сопротивлении следующего каскада. Цепью R_3C_3 осуществляется низкочастотная, а цепью L_1C_1 — высокочастотная коррекция усилителя воспроизведения.

Входное сопротивление следующего каскада должно быть в 4—5 раз больше полного сопротивления коллекторной цепи и внутреннего сопротивления транзистора T_1. Сопротивление резистора R_1 должно быть в 4—5 раз меньше полного сопротивления цепи R_3C_3, а постоянная времени этой цепи определяется постоянной времени, нормализованной для данной скорости движения магнитной ленты, т. е. $R_3C_3 \approx \tau$.

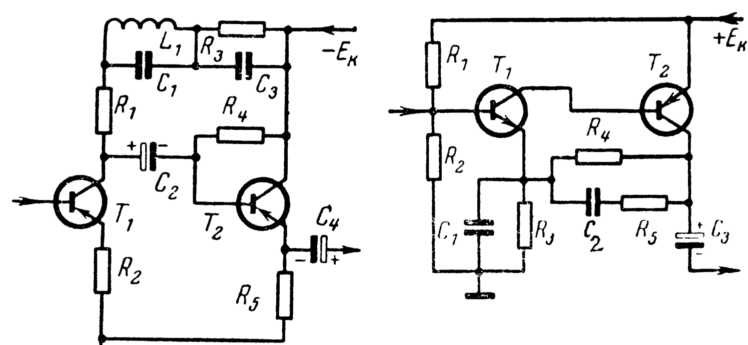


Рис. 10. Схема коррекции в коллекторной цепи.

Рис. 11. Первая схема коррекции с частотно-зависимой обратной связью.

Считая внутреннее сопротивление транзистора T_1 равным нескольким десяткам килоом, выбираем сопротивление R_3=4,3 *ком* и нижнюю рабочую частоту 50 *гц*, получаем для скорости ленты 9,53 *см/сек* значения R_1 и C_3 соответственно 0,86 *ком* и 0,033 *мкф*. Для регулирования высокочастотной коррекции желательно параллельно контуру L_1, C_1 включить переменное сопротивление 27—51 *ком*.

Перейдем к рассмотрению схем усилителей воспроизведения, в которых требуемая форма частотной характеристики достигается благодаря действию обратной связи. Первая из них показана на рис. 11. Двухкаскадный усилитель, собранный на транзисторах T_1 и T_2 типа *n-p-n* и *p-n-p*, охвачен сильной отрицательной обратной связью (часть коллекторной нагрузки транзистора T_2 включена в цепь эмиттера транзистора T_1). Если исключить цепочки коррекции, состоящие из элементов R_5, C_2 и C_1, то коэффициент усиления этого усилителя определяется отношением $\frac{R_3+R_4}{R_3}$ при условии, что произведение коэффициентов усиления транзисторов β_1 и β_2 на порядок превышает коэффициент усиления, определяемый указанным отношением. При выборе транзисторов T_1 и T_2 с коэффициентами усиления 15—20 данная схема обеспечивает стабильный коэффициент усиления около 20—40 в широком диапазоне изменения

температуры и напряжения источника питания. При подключении параллельно резистору R_4 цепочки C_2R_5 обеспечивается подъем нижних частот. Резистор R_3 и конденсатор C_1 обеспечивают подъем частотной характеристики на верхних частотах. Регулируя емкость этого конденсатора, можно изменять величину подъема.

В этой схеме, как и в предыдущих, необходимо, чтобы полное сопротивление нагрузки транзистора T_2 на нижних частотах было в 4—5 раз меньше внутреннего сопротивления транзистора T_2. Постоянная времени цепочки, состоящей из сопротивлений R_4, R_5 и C_2, определяется из выражения

$$\tau \approx C_2 \frac{R_5R_4}{R_5+R_4}.$$

Расчет величин корректирующих элементов можно существенно упростить, если выбрать сопротивление резистора R_4 в 4—5 раз меньше внутреннего сопротивления транзистора, в то же время R_4 должно быть в 4—5 раз больше полного сопротивления цепочки C_2, R_5 на нижней рабочей частоте. В этом случае выражение для модуля коэффициента усиления на нижних частотах упрощается:

$$K_н \approx \sqrt{\frac{(R_3+R_5)^2+\frac{1}{\omega_н^2C_2^2}}{R_3}}$$

и

$$\tau \approx C_2R_5.$$

Выбирая сопротивление резистора $R_3=200$ *ом*, $f_н=50$ *гц*, скорость ленты 4,76 *см/сек* ($\tau=280$ *мксек*), коэффициент усиления $K_н$ по низкой частоте 20, находим значения сопротивления R_5 и емкости C_2, которые оказываются соответственно равными 360 *ом* и 0,75 *мкф*. Сопротивление резистора R_4 выбираем в 4—5 раз большим полного сопротивления цепи C_2R_5, которое оказывается равным 4,3 *ком* на частоте 50 *гц*, откуда $R_4=18$ *ком*. Таким образом, обеспечивается требование, чтобы Z цепи коррекции $R_4R_5C_2$ было меньше внутреннего сопротивления транзистора T_2 (около 100 *ком*).

Рис. 12. Вторая схема коррекции с частотно-зависимой обратной связью

Включение конденсатора C_1 параллельно резистору R_3 вызывает подъем верхних частот. Если необходимо получить более резкий подъем в этой области частот, то вместо конденсатора C_1 включают последовательный LC контур, настроенный на верхнюю или более высокую частоту.

Вторая схема, в которой частотная коррекция осуществляется благодаря обратной связи, изображена на рис 12. Двухкаскадный

усилитель на транзисторах T_1 и T_2 охвачен отрицательной обратной связью, которая с коллектора транзистора T_2 подается в цепь эмиттера транзистора T_1. Отрицательная обратная связь частотно-зависима. Максимальная отрицательная обратная связь возникает на средних частотах, ее величина определяется сопротивлением резистора R_6, в связи с этим усилитель имеет на средних частотах минимальный коэффициент усиления. На нижних и верхних частотах действие отрицательной обратной связи уменьшается соответственно благодаря действию конденсатора C_2 и резонансного контура $L_1C_3R_7$. В этой схеме как и в предыдущих, подъем на нижних частотах определяется постоянной времени цепи C_2R_6, а подъем на верхних частотах отношением L_1/C_3. Для регулирования подъема частотной характеристики на верхних частотах производят подбор величины сопротивления R_7, шунтирующего резонансный контур. Коэффициент усиления рассмотренного усилителя зависит от коэффициентов усиления транзисторов T_1 и T_2 и выбора сопротивлений R_2, R_6 и R_5.

Преимущества и недостатки схем усилителей воспроизведения с коррекцией в цепи обратной связи связаны с особенностями данных схем. Преимущества заключаются в ослаблении нелинейных искажений, особенно на средних частотах, где обратная связь достаточно сильна. Благодаря действию обратной связи свойства усилителя меньше зависят от параметров транзисторов T_1 и T_2. Однако обратная связь приводит и к ряду недостатков. Пульсация напряжения источников питания, если питание электродвигателя лентопротяжного механизма и усилителей осуществляется от общего источника с достаточно большим внутренним сопротивлением, и шумы второго транзистора T_2 в этих схемах проявляются значительно сильнее. Поэтому приходится подбирать транзисторы с минимальным уровнем шума не только в первом, но и во втором каскаде и сглаживать питающее напряжение. Наконец, имеется опасность самовозбуждения усилителя за пределами рабочего диапазона частот, где из-за влияния паразитных реактивных элементов обратная связь может стать положительной.

Кроме рассмотренных способов коррекции, иногда применяют для увеличения подъема на верхних частотах подключение конденсатора небольшой емкости параллельно головке воспроизведения. Емкость этого конденсатора выбирают такой, чтобы головка воспроизведения была настроена в резонанс на верхнюю или несколько большую частоту.

Практические схемы усилителей воспроизведения

В данном параграфе мы рассмотрим практические схемы двух усилителей воспроизведения, предназначенных для работы с низкоомными головками воспроизведения (индуктивность 20—60 *мгн*) при скорости движения ленты 4,76 *см/сек*. При этом будут указаны величины корректирующих элементов и для скорости движения ленты 9,53 *см/сек*.

Первая схема усилителя воспроизведения без выходного каскада приведена на рис. 13. Усилитель пятикаскадный собран на кремниевых транзисторах П102. Вместо них могут быть применены кремниевые транзисторы П101, П103 или транзисторы типа *р-п-р* П104—П106. Режимы транзисторов не изменяются Хорошие результаты

можно также получить при использовании германиевых транзисторов П13Б или П9А. Коэффициент усиления β всех транзисторов должен быть не менее 10—15. Два первых каскада собраны по идентичной схеме с общим эмиттером. В цепи эмиттеров включены полупроводниковые диоды Д2А, что позволило упростить схему, отказавшись от использования в цепях эмиттеров резисторов, шунтированных конденсаторами больших емкостей. Это объясняется тем, что сопротивление постоянному току указанных диодов составляет 200—500 *ом*, а сопротивление переменному току — на порядок меньше.

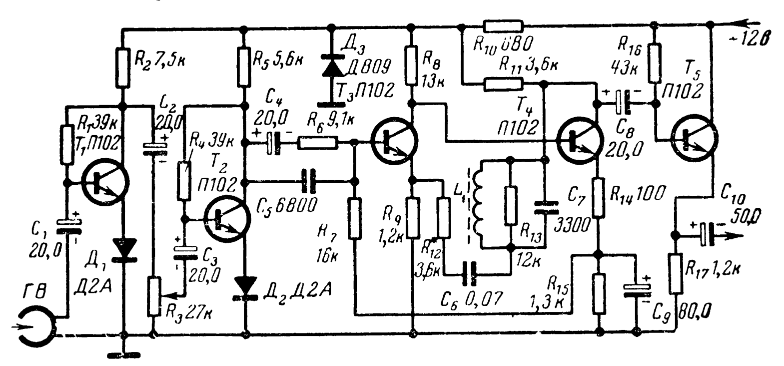


Рис. 13. Первая схема усилителя воспроизведения.

Кроме того, включение диодов в эмиттерную цепь улучшает стабилизацию рабочих точек транзисторов. Смещение на базах первых двух транзисторов осуществляется с помощью резисторов R_1 и R_4. С целью получения минимума шума на выходе усилителя записи в первом каскаде желательно применить транзистор с малым начальным током коллектора. В этом отношении кремниевые транзисторы, примененные в рассматриваемой схеме усилителя воспроизведения, выгодно отличаются от германиевых транзисторов. Для транзисторов П102 оптимальный эмиттерный ток равен 0,2—0,3 *ма*.

Входное сопротивление первого каскада 10—12 *ком*, что обеспечивает работу воспроизводящей головки практически на холостом ходу без завала высоких частот (полное сопротивление головки на верхней частоте 7 *кгц* составляет 2,7 *ком*). Между первым и вторым каскадами установлен потенциометр, являющийся регулятором уровня воспроизведения. Дополнительная высокочастотная коррекция около 4 *дб* на частоте 7 *кгц* производится цепочкой R_6C_5. Основная коррекция осуществляется в цепи обратной связи, охватывающей третий и четвертый каскады цепочкой $R_{12}C_6$ и резонансным контуром L_1C_7.

Подъем на нижних частотах регулируется подбором сопротивления R_{12}, а на верхних частотах подбором сопротивления R_{13}. Желательно вместо постоянного резистора R_{13} применить потенциометр с сопротивлением 27 *ком*. Это позволяет по мере износа воспроизводящей головки увеличивать подъем на верхних частотах Контур L_1C_7 настраивается на частоту 8 *кгц*. Если данный усилитель будет применяться в магнитофоне со скоростью движения ленты 9,53 *см/сек*,

то емкость C_7 надо взять равной 0,033 *мкф*, а резонансный контур настроить на частоту 15—16 *кгц*.

Для того чтобы подсоединение нагрузки усилителя не изменяло частотную коррекцию, пятый каскад собран по схеме эмиттерного повторителя (транзистор T_5). Сигнал звуковой частоты с нагрузки эмиттерного повторителя поступает либо на мощный усилитель, либо на головные телефоны. Отсюда же подается напряжение на индикатор уровня записи.

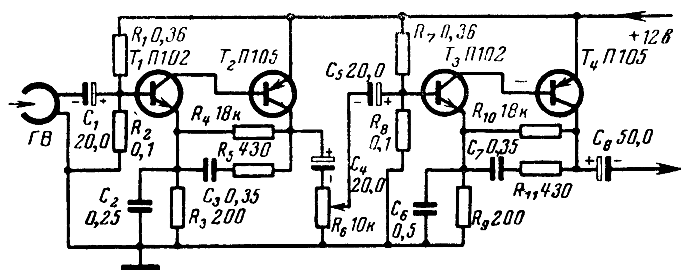


Рис. 14. Вторая схема усилителя воспроизведения.

В схеме использован стабилитрон $Д_3$ типа Д809, который стабилизирует напряжение питания первых четырех каскадов. Малое динамическое сопротивление стабилитрона позволяет значительно снизить пульсации напряжения, которые возникают от электродвигателя, когда последний питается вместе с усилителем от общего источника.

Рассмотренный усилитель имеет частотные характеристики, изображенные на рис. 8 для скоростей 9,53 и 4,76 *см/сек* (кривые *4* и *2* соответственно). При воспроизводящей головке с рабочим зазором 3 *мк* он обеспечивает воспроизведение в полосе от 50 *гц* до 7 *кгц*

Выходное напряжение усилителя 0,4 *в*, что вполне достаточно для раскачки мощного усилителя и для прослушивания записи через головные телефоны.

Вторая схема усилителя воспроизведения изображена на рис. 14. Усилитель четырехкаскадный собран на кремниевых транзисторах, транзисторы T_1 и T_3 *n-p-n* типа П102, а T_2 и T_4 *p-n-p* типа П105. Вместо кремниевых транзисторов можно применить и германиевые соответственно П13Б и П9А. Усилитель состоит из двух последовательно включенных идентичных усилителей, описанных в предыдущем параграфе (схема их приведена на рис. 11). Между вторым и третьим каскадами включен регулятор уровня воспроизведения R_6. В случае использования усилителя при скорости ленты 9,53 *см/сек* емкости C_3 и C_7 необходимо уменьшить до 0,2 *мкф*, а емкости C_2 и C_6 до 0,1 и 0,25 *мкф* соответственно.

Отличие рассмотренной схемы от схемы, приведенной на рис. 11, заключается в том, что частотная коррекция распределена между двумя цепями обратной связи, охватывающей первый-второй и третий-четвертый каскады. Входное сопротивление усилителя не менее 12 *ком* зависит от частоты, так как входной каскад охвачен частотно-зависимой обратной связью. Выходное сопротивление усилителя

около 3 *ком.* В связи с этим мощный усилитель, подключаемый на выход, должен иметь входное сопротивление не менее 5 *ком*, а головные телефоны для прослушивания записи должны быть высокоомными.

Усилитель воспроизведения, собранный по второй схеме, имеет те же качественные показатели, что и первый усилитель, но содержит меньше деталей. Поэтому при конструировании миниатюрных магнитофонов предпочтение следует отдать второй схеме усилителя.

При использовании высокоомных головок необходимо усложнить рассмотренные усилители дополнительным каскадом, собранным по схеме эмиттерного повторителя (см. рис. 6), или каскадом, в котором предусмотрены меры для увеличения входного сопротивления по переменному току (см. рис. 7). Если вместо рекомендованных головок с рабочим зазором около 3 *мк* будут применены головки с немного большим зазором, то следует изменить величины элементов схемы, осуществляющих высокочастотную коррекцию, подобрав их практически при настройке канала воспроизведения по измерительной ленте [1].

Выходные усилители

В зависимости от назначения портативного магнитофона, например, в репортажном магнитофоне, выходной (мощный) усилитель воспроизведения может отсутствовать. В этом случае запись прослушивают через головные телефоны. Если необходимо громкоговорящее воспроизведение, пользуются отдельным (выносным) усилителем с акустическим агрегатом. Однако в большинстве радиолюбительских портативных магнитофонов применяются встроенные выходные усилители и громкоговорители.

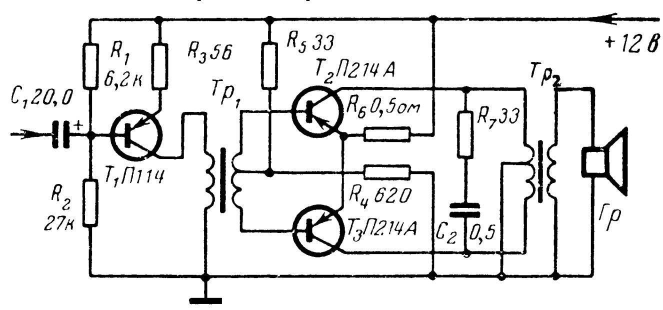


Рис. 15. Выходной усилитель с трансформаторным выходом.

Выходные усилители могут быть выполнены как по трансформаторной, так и по бестрансформаторной схемам.

Рассмотрим выходной усилитель на трансформаторах. Принципиальная схема одного из возможных вариантов изображена на

[1] Смотри, например. В. Г. Корольков, Испытания магнитофонов, МРБ, вып. 584, 1965.

рис. 15. Усилитель двухкаскадный. Первый каскад собран по однотактной схеме на транзисторе T_1, в качестве которого может быть использован любой низкочастотный транзистор малой мощности. Согласование этого каскада с выходным двухтактным каскадом, работающим в классе В (с целью экономии энергии, потребляемой от источников питания), производится с помощью трансформатора $Тр_1$. Стабилизация режима транзистора T_1 осуществляется делителем R_1R_2 в цепи базы и небольшим сопротивлением резистора R_3, включенным в цепь эмиттера. Это сопротивление не шунтировано емкостью, что, с одной стороны, увеличивает входное сопротивление каскада до 2,5 *ком* для согласования с усилителем воспроизведения, а с другой — благодаря отрицательной обратной связи по току уменьшает нелинейные искажения. Выходной каскад собран на двух транзисторах T_2 и T_3 типа П214А, вместо которых можно применить любые другие, например, типов П201, П203, П4, П213 и т. д.

Для понижения нелинейных искажений и уменьшения потребляемого тока в режиме молчания желательно подобрать транзисторы T_2 и T_3 с одинаковыми параметрами и коэффициентами усиления ($\beta \approx 20 \div 60$). Режим работы выходного каскада устанавливается выбором сопротивлений делителя R_5 и R_4 и сопротивления R_6. Благодаря резистору R_6 выходной каскад охвачен также отрицательной обратной связью, что в некоторой степени компенсирует неодинаковость параметров выходных транзисторов и повышает температурную стабильность выходного каскада. Нагрузка — динамический громкоговоритель или его эквивалент (в случае записи с микрофона), подключен к выходному каскаду через выходной трансформатор. Для улучшения согласования выходного каскада с нагрузкой в диапазоне частот параллельно первичной обмотке выходного трансформатора включена цепь R_7C_2. Трансформаторы $Тр_1$ и $Тр_2$ собраны на сердечниках Ш-12 и Ш-20 с шириной пакета соответственно 12 и 25 *мм*. Первичная обмотка трансформатора $Тр_1$ имеет 2 200 витков провода ПЭЛ 0,1, вторичная — 600 витков провода ПЭЛ 0,12 с отводом от середины. Первичная обмотка трансформатора $Тр_2$ состоит из 1 000 витков провода ПЭЛ 0,41 с отводом от середины, вторичная — из 300 витков провода ПЭЛ 0,56. Выходной трансформатор рассчитан для подключения громкоговорителя с сопротивлением звуковой катушки около 6 *ом* В случае иного сопротивления число витков вторичной обмотки можно изменить согласно известной формуле

$$w_x = w_0 \sqrt{\frac{R_x}{R_0}},$$

где w_0 — число витков вторичной обмотки при сопротивлении звуковой катушки R_0;

w_x — необходимое число витков вторичной обмотки при сопротивлении звуковой катушки R_x.

Относительно большие размеры трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ выбраны для того, чтобы обеспечить усиление на нижних частотах, начиная с 50 *гц*. Выходной усилитель обладает следующими характеристиками: полоса пропускания от 50 *гц* до 8 *кгц* с неравномерностью частотной характеристики не более ±1,5 *дб*, выходная мощность при питании усилителя от источника с напряжением 12 *в* и внутренним сопротивлением не более 1 *ом* составляет 5 *вт* при коэф-

фициент нелинейных искажений менее 3%. В режиме молчания усилитель потребляет около 30 *ма*.

В настоящее время широкое распространение получили бестрансформаторные усилители, так как они легче и меньше и не требуют затрат времени на намотку трансформаторов.

На рис. 16 приведена схема подобного усилителя, содержащая всего 16 элементов. Усилитель двухкаскадный. Первый каскад собран на транзисторе T_1 типа *p-n-p*, в качестве которого может быть

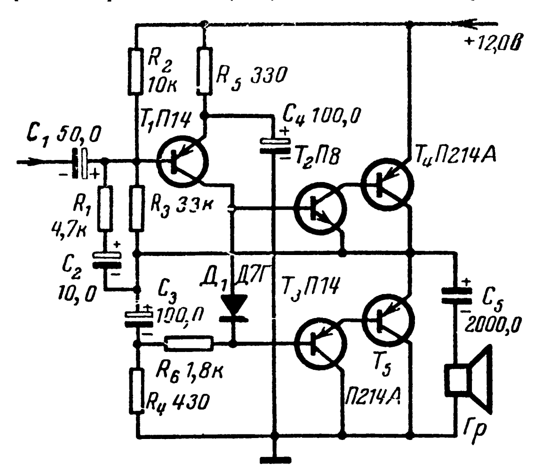


Рис. 16. Первая схема бестрансформаторного усилителя.

применен любой низкочастотный транзистор малой мощности с коэффициентом усиления $\beta = 15 \div 30$.

Оконечный каскад двухтактный, собран на составных транзисторах типов *n-p-n* T_2, *p-n-p* T_4 и *p-n-p* T_3, T_5. Транзистор T_4 включен по схеме с общим эмиттером, а T_5 — по схеме с общим коллектором. Смещение на базы транзисторов T_2 и T_3 подается непосредственно с полупроводникового диода $Д_1$, включенного в коллекторную цепь транзистора T_1. Смещение на базе первого транзистора определяется делителем R_2 и R_3, подключенным между плюсом источника питания и точкой соединения коллектора транзистора T_4 и эмиттера T_6, с этой же точки напряжение отрицательной обратной связи через цепочку C_2R_1 подается на базу первого транзистора. Соответствующим выбором величины обратной связи удается уменьшить коэффициент нелинейных искажений до 2—3% при выходной мощности около 2,5 *вт*. Полоса пропускания усилителя 50 *гц*—12 *кгц* при неравномерности не более ±2 *дб*.

Для того чтобы нелинейные искажения не превышали 2—3%, необходимо обеспечить идентивность параметров составных транзисторов T_2, T_4 и T_3, T_5; произведения коэффициентов усиления $\beta_2\beta_4$ и $\beta_3\beta_5$ должны быть не менее 80 При тщательном налаживании ток покоя усилителя не превышает 10—15 *ма*. Усилитель нормально ра-

ботает при сопротивлении звуковой катушки громкоговорителя 3—6 *ом* Для обеспечения воспроизведения на нижних частотах емкость разделительного конденсатора C_5 выбирается по формуле

$$C_5 \geqslant \frac{2-3}{\omega_н R_н},$$

где $R_н$ — сопротивление звуковой катушки.

При $f_н=50$ *гц* и $R_н=6$ *ом* $C_5=1\,500—2\,000$ ***мкф***. При меньшей емкости повышается нижняя граница полосы пропускания выходного усилителя.

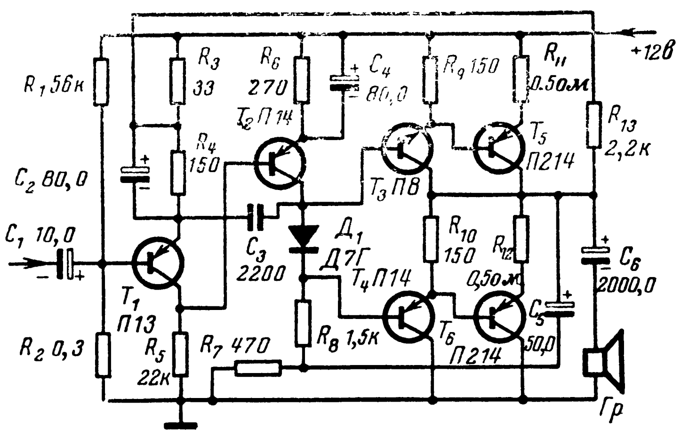


Рис. 17. Вторая схема бестрансформаторного усилителя.

Входное сопротивление усилителя 1,5—2 *ком*, что позволяет непосредственно подключать его к выходу усилителя воспроизведения, схема которого была приведена на рис. 13.

Более сложная схема выходного бестрансформаторного усилителя приведена на рис. 17. Усилитель трехкаскадный. Первый каскад имеет повышенное входное сопротивление около 15 *ком*, что позволяет подключать его к усилителю воспроизведения, схема которого была приведена на рис. 14. Остальные каскады существенно не отличаются от соответствующих каскадов предыдущего выходного усилителя. Для лучшей стабилизации оконечного каскада в эмиттерные цепи транзисторов T_5 и T_6 включены резисторы R_{11} и R_{12}. Отрицательная обратная связь с выхода усилителя через резистор R_{13} подается в цепь эмиттера первого каскада. При указанных типах транзисторов ($\beta=10\div30$) полоса пропускания усилителя 40 *гц*—18 *кгц* при неравномерности ±2 *дб*, выходная мощность около 3 *вт*, коэффициент нелинейных искажений при тщательном подборе транзисторов и элементов схемы, определяющих режим транзисторов, можно получить равным 1—1,5%. Усилитель нормально работает на нагрузку сопротивлением 4—6 *ом*.

При конструировании портативного магнитофона с малой выходной мощностью (до 200 *мвт*) можно воспользоваться рассмотренными схемами, заменив в них транзисторы средней мощности — маломощными низкочастотными транзисторами.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

УСИЛИТЕЛИ ЗАПИСИ

Назначение и особенности усилителей записи

На усилители записи в портативных магнитофонах возлагаются следующие задачи:

усиление сигналов, получаемых от микрофона, линии или какого-либо другого источника, и подача их в головку записи;

частотные предыскажения записываемых на ленту сигналов;

смешение сигналов звуковой частоты и высокочастотного подмагничивания.

Как правило, усилитель записи должен быть рассчитан на работу от нескольких источников сигналов, которые имеют различные внутренние сопротивления и амплитуды. В усилителе должен иметься регулятор, позволяющий установить требуемый уровень записи.

Собственные шумы в усилителях записи являются менее серьезным препятствием, чем в усилителях воспроизведения, так как входной сигнал намного больше Поэтому, хотя уровень шума на выходе усилителя записи и должен быть на 10 *дб* меньше, чем относительный уровень шума магнитофона в целом, достигается он сравнительно просто. Для правильной оценки уровня шума усилителя записи необходимо учитывать, что следующие за ним в сквозном канале блоки (головка записи, магнитная лента, головка воспроизведения и усилитель воспроизведения) компенсируют своим действием частотные предыскажения усилителя записи и соответственно оказывают влияние на его отдельные шумовые компоненты Эту особенность необходимо учитывать при измерении собственных шумов усилителя записи, включая перед измерительным прибором четырехполюсник с частотной характеристикой, обратной характеристике усилителя записи

Обычно усилитель записи конструктивно совмещают с генератором токов стирания и подмагничивания, что создает опасность наводки высокочастотного сигнала на предварительные каскады усилителя записи. Наводка может привести к нарушению нормальной работы усилителя записи (увеличить шум и нелинейные искажения, уменьшить коэффициент усиления и т д.). Поэтому применяют специальные меры: рациональное размещение элементов усилителя и генератора, экранирование и фильтр-пробки, настроенные на высокую частоту

Получение в усилителе записи достаточно малых нелинейных искажений не представляет особых затруднений, так как записывающая головка потребляет малую мощность, не превышающую 10 *мвт*.

Действие записывающей головки на магнитную ленту может быть выражено через ток, протекающий в обмотке. Необходимая величина тока записи зависит от конструкции головки, числа витков ее обмотки, выбора величины подмагничивания и свойств магнитной ленты. В связи с тем, что сопротивление обмотки записывающей головки имеет индуктивный характер и на низких частотах мало, то при непосредственной нагрузке усилителя на головку на этих частотах могут возникать большие нелинейные искажения. Поэтому во всех усилителях записи применяют стабилизацию сопротивления нагрузки. Методы стабилизации будут рассмотрены ниже.

Если при записи звуковых сигналов различных частот поддерживать одинаковый ток в обмотке головки, остаточное намагничивание ленты не будет постоянным. По мере увеличения частоты оно будет уменьшаться, это приводит к необходимости увеличивать в усилителях записи усиление на высоких частотах, т. е. осуществлять частотные предыскажения. И, наконец, для обеспечения малых нелинейных искажений и уменьшения собственных шумов ленты запись производят с высокочастотным подмагничиванием. Поэтому в схеме усилителя записи должны быть предусмотрены элементы, производящие смешение токов звуковой и высокой частоты.

Выходные каскады усилителей записи

Как уже говорилось, в усилителях записи необходимо производить стабилизацию нагрузки. Простейшим способом стабилизации является включение последовательно с записывающей головкой ограничительного резистора с достаточно большим сопротивлением. Это сопротивление должно в несколько раз превышать сопротивление головки на верхней частоте рабочего диапазона $\omega_в L_г$, тогда сопротивление нагрузки усилителя может считаться равным сопротивлению резистора R. Практически для этого достаточно выполнить условие

$$R = (2 \div 3)\,\omega_в L_г.$$

Так, например, если полоса пропускания портативного магнитофона составляет 50 *гц* — 10 *кгц*, а индуктивность головки записи — 60 *мгн*, то при отсутствии стабилизирующего резистора нагрузка меняется в пределах от 19 до 3 800 *ом*, т. е в 200 раз. При включении сопротивления R=8,2 *ком* нагрузка будет меняться в указанном диапазоне частот от 8,2 до 12 *ком*, т. е. всего в 1,45 раза.

Вторым способом стабилизации нагрузки является включение последовательно с записывающей головкой параллельно соединенных сопротивлений R и конденсатора C.

Полное входное сопротивление этой цепи может быть вычислено по формуле

$$Z = R\alpha \frac{\sqrt{\alpha^2 + (b^3 + \alpha^2 b - b)^2}}{b^2 + \alpha^2},$$

где

$$\alpha = \frac{\omega_р L_г}{R}; \quad \omega_р = \frac{1}{\sqrt{L_г C}}; \quad b = \frac{\omega}{\omega_р},$$

ω — круговая частота, для которой подсчитывается входное сопротивление Z. Проведенные исследования изменения Z в диапазоне частот от $\omega=0$ до $\omega=\omega_p$ в зависимости от величины α показывают, что наилучшая стабилизация сопротивления достигается при $\alpha=1,6$. При $\alpha<1,6$ ток через головку записи увеличивается по мере возрастания частоты, так как Z уменьшается. Это может частично использоваться для осуществления частотных предыскажений.

С учетом сказанного можно определить данные стабилизирующей цепочки при $\alpha=1,6$.

$$R=\frac{\omega_{\text{в}}L_{\text{г}}}{1,6} \text{ и } C=\frac{1}{\omega_{\text{в}}^2 L_{\text{г}}}.$$

Оба способа стабилизации нагрузки усилителя широко применяются в магнитофонах. Сравним их между собой. При ограничительном сопротивлении выходная мощность и выходное напряжение усилителя записи должны быть больше, чем в случае применения для целей стабилизации RC цепочки, так как во втором случае полное сопротивление нагрузки получается значительно меньше, чем в первом, а необходимый ток записи не зависит от типа стабилизирующей цепи.

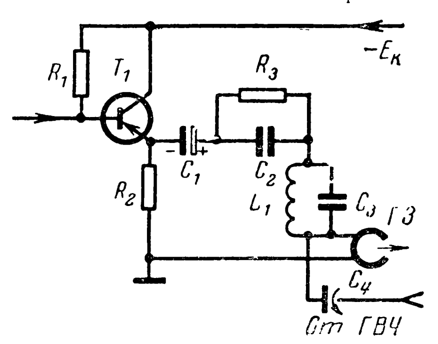


Рис. 18. Схема с общим коллектором в выходном каскаде усилителя записи.

В магнитофонах широкого применения с ламповыми усилителями, обеспечивающими выходное напряжение в несколько десятков вольт при малых нелинейных искажениях, в основном применяется первая схема, так как она проще, позволяет обойтись без фильтра, препятствующего проникновению в усилитель тока подмагничивания. Но в портативных магнитофонах с усилителями на транзисторах, питающихся от низковольтных источников, трудно получить выходное напряжение более 4 *в*. Поэтому в этом случае предпочтение отдается второй схеме.

Рассмотрим схемы выходных каскадов усилителей записи.

Первая схема изображена на рис. 18. Каскад собран на транзисторе T_1 по схеме эмиттерного повторителя. Эта схема обеспечивает получение большого входного и низкого выходного сопротивлений. Напряжение записи через разделительный конденсатор C_1, цепь стабилизации R_3, C_2 и фильтр L_1, C_3, настроенный на частоту подмагничивания, подается на головку записи. Выбор элементов фильтра производится из следующих соображений. Резонансная частота фильтра должна совпадать с частотой подмагничивания

$$f_{\text{п}}=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_3}}.$$

Так как катушка фильтра включена последовательно с обмоткой головки в цепь прохождения тока звуковой частоты, то при расчете стабилизирующей цепи RC по приведенным ранее формулам вместо $L_г$ следует подставлять $L_г+L_1$. Поэтому не следует брать слишком большую индуктивность L_1, так как это приведет к увеличению сопротивления R_3, что в свою очередь потребует повышения выходного напряжения усилителя записи.

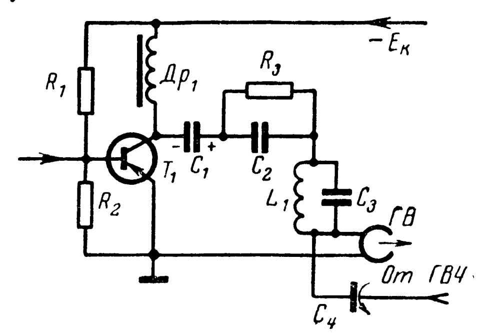


Рис. 19. Схема выходного каскада усилителя записи с дросселем в коллекторной цепи.

С другой стороны при малой величине индуктивности L_1 резонансное сопротивление фильтра получается низким и он плохо работает. Рекомендуется выбирать индуктивность фильтра в следующих пределах:

$$L_1 = (0{,}25 \div 1)\,L_г.$$

Для повышения резонансного сопротивления фильтра катушку необходимо наматывать возможно более толстым проводом и использовать ферритовые сердечники с малыми потерями.

Вторая схема выходного каскада усилителя записи приведена на рис. 19. Усилитель на транзисторе T_1 собран по схеме с общим эмиттером. В цепь коллектора включен дроссель $Др_1$, что позволяет получить большее выходное напряжение при относительно малых нелинейных искажениях. Цепь питания головки током записи аналогична цепи предыдущей схемы. Преимущество данной схемы по сравнению с предыдущей заключается в том, что при ней усиление больше единицы, что позволяет уменьшить число каскадов в усилителе записи.

Индуктивность дросселя выбирают так, чтобы он на нижней частоте не шунтировал заметно сопротивление нагрузки: на нижней частоте нужное сопротивление нагрузки каскада $L_{др} = \frac{(3 \div 4)R_3}{\omega_н}$.

При применении дроссельной нагрузки возникает опасность появления резонанса в пределах рабочей полосы частот, поэтому часто шунтируют дроссель сопротивлением, которое подбирается экспериментально (1—5 *ком*).

Рассмотренные схемы предназначены для питания низкоомных головок записи с индуктивностью 20—60 *мгн*.

В том случае, когда хотят использовать высокоомную записывающую или универсальную головку, выходной каскад можно собрать по трансформаторной схеме (рис. 20) и применить стабилизацию нагрузки сопротивлением R_3. Зная индуктивность головки, производят выбор R_3, что позволяет найти требуемое напряжение записи: $U_3 = i_3 R_3$. Коэффициент трансформации выбирается равным

$$n = \frac{U_з}{U_{вых}},$$

где $U_{вых}$ — эффективное напряжение на коллекторе.

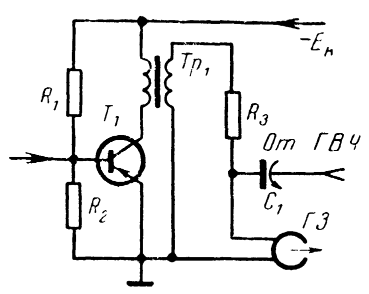


Рис. 20. Схема выходного каскада усилителя записи с трансформатором в коллекторной цепи.

Рассмотрим пример расчета: индуктивность головки равна 1,0 *гн*, требуемый ток записи 0,2 *ма*, напряжение питания усилителя записи 12 *в*, полоса рабочих частот 50 *гц* — 10 *кгц*. Выбираем величину $R_3 = 2\omega_в L_г = 120$ *ком*, при этом напряжение записи получается равным 24 *в*. Каскад на транзисторе при питании 12 *в* обеспечивает эффективное выходное напряжение не более 3,5 *в*. Отсюда требуемый коэффициент трансформации $n = 7$.

В связи с тем, что цепи питания головок записи потребляют незначительную мощность, в выходных каскадах усилителя записи применяют маломощные низкочастотные транзисторы.

Частотные характеристики и схемы усилителей записи

В начале этой главы упоминалось о необходимости иметь в усилителях записи предыскажения в виде увеличения усиления на высоких частотах. Величина этих предыскажений зависит от верхней рабочей частоты, качества головки, типа магнитной ленты и от плотности прилегания магнитной ленты к головке. Теоретический расчет требуемой частотной характеристики усилителя записи весьма сложен. Поэтому проще определить ее экспериментально путем снятия частотной характеристики выходного напряжения магнитофона при неизменном токе записи и оптимальном подмагничивании.

Частотная характеристика усилителя записи должна быть обратна полученной характеристике канала записи-воспроизведения, при условии, что канал воспроизведения был предварительно отлажен и имеет требуемую частотную характеристику.

Типовые частотные характеристики усилителя записи приведены на рис. 21 для скоростей ленты 9,53 и 4,76 *см/сек* (кривые *1* и *2* соответственно).

Частотные предыскажения можно производить как в самом усилителе, так и на его выходе, т. е. в цепях питания записывающей головки. Однако во втором случае необходимо в несколько раз увеличивать стабилизирующее сопротивление и соответственно напряжение записи, что нежелательно для портативных магнитофонов.

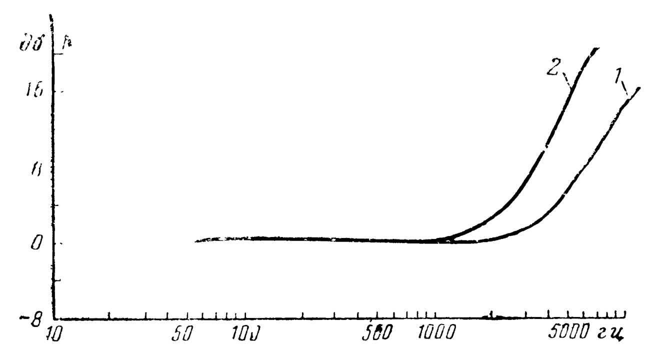


Рис. 21. Частотные характеристики усилителя записи для скорости движения ленты 9,53 *см/сек* (кривая *1*) и 4,76 *см/сек* (кривая *2*).

Рассмотрим ряд схем, обеспечивающих частотные предыскажения в усилителе записи. На рис. 22 приведена схема с элементами коррекции в коллекторной цепи транзистора T_1. Эта схема аналогична соответствующей схеме высокочастотной коррекции в усилителе воспроизведения. Контур L_1C_1 настраивают на верхнюю рабочую частоту или на несколько более высокую. Величина подъема частотной характеристики определяется резонансным сопротивлением контура коррекции L_1C_1; чем оно больше по сравнению с со-

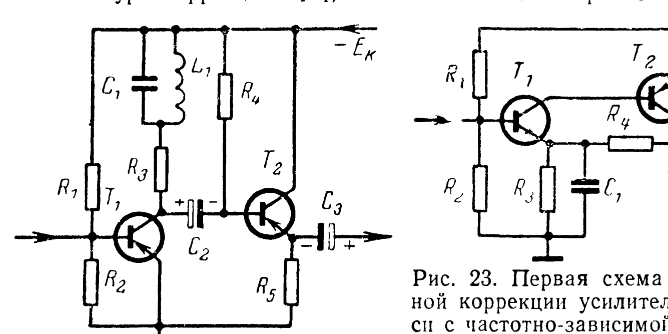


Рис. 22. Схема частотной коррекции усилителя записи в коллекторной цепи.

Рис. 23. Первая схема частотной коррекции усилителя записи с частотно-зависимой обратной связью.

противлением R_3, тем подъем больше. Включая параллельно контуру шунтирующий резистор, можно при необходимости уменьшить величину подъема. Недостатком схемы является необходимость применения эмиттерного повторителя во втором каскаде (транзистор T_2), для того чтобы его входное сопротивление не шунтировало контур коррекции. Для получения подъема частотной характеристики на верхней рабочей частоте 10—18 *дб* необходимо в первом каскаде применять транзистор с усилением β не менее 30.

На рис. 23 изображена схема двухкаскадного усилителя записи на транзисторе T_1 типа *n-p-n* и T_2 типа *p-n-p*, в котором коррекция частотной характеристики осуществляется в цепи обратной связи. Величина обратной связи на низких и средних частотах выбирается достаточно большой путем надлежащего выбора сопротивления R_3 и R_4. На высоких частотах действие обратной связи уменьшается из-за шунтирования резистора R_3 конденсатором C_1. Это приводит к увеличению усиления на высоких частотах. Расчет цепи коррекции производят следующим образом.

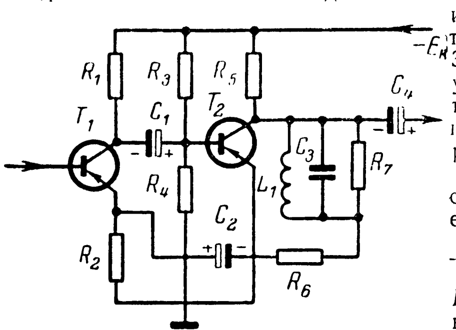


Рис. 24. Вторая схема частотной коррекции усилителя записи с частотно-зависимой обратной связью.

Усиление на низких и средних частотах определяется отношением $K_н = 1 + \frac{R_4}{R_3}$ при условии, если $K_н \ll \beta_1\beta_2$. Усиление на верхней частоте $K_в$ для стабильной работы усилителя не должно превышать $(0,1 \div 0,2)\,\beta_1\beta_2$.

Если транзисторы T_1 и T_2 имеют коэффициенты усиления β_1 и β_2 около 20, то величину $K_н$ можно выбрать в пределах 40—50. При требовании подъема частотной характеристики, например на 18 *дб*, коэффициент усиления на низких и средних частотах должен быть равен 5—6. Исходя из этого, задавшись сопротивлением $R_3 = 620$ *ом*, определяют величину R_4, при которой $K_н = 5$. Сопротивление резистора R_4 оказывается равным 2,5 *ком*. Далее находим емкость C_1, которая для верхней рабочей частоты 10 *кгц* равна $\sim$0,3 *мкф*.

На рис. 24 и 25 приведены еще две схемы усилителей с частотно-зависимой обратной связью. В первой схеме используется контур L_1C_3, во второй — двойной Т-образный мост. Контур и двойной Т-образный мост настраиваются на верхнюю рабочую частоту или несколько выше (настраиваются экспериментально). В первой схеме цепь обратной связи, состоящая из C_2, R_6, L_1, C_3 и R_7, вклю-

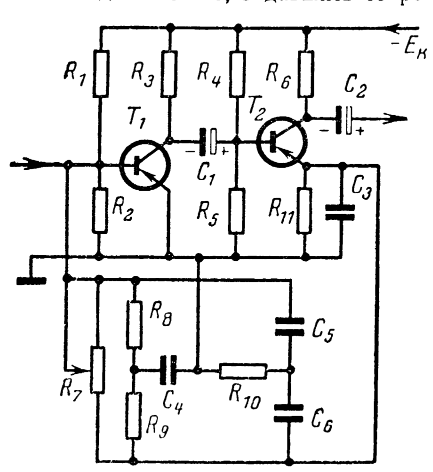


Рис. 25. Схема коррекции в усилителе записи с двойным Т-образным мостом в цепи обратной связи.

чена между коллектором транзистора T_2 и эмиттером транзистора T_1, а во второй — цепь, состоящая из R_{11}, R_{10}, R_8, R_9, R_7, C_4, C_5 и C_6, включена между базой первого и эмиттером второго транзисторов. Дополнительный подъем высоких частот осуществляется конденсатором C_3, включенным параллельно резистору в цепи эмиттера (схема на рис. 25).

Величина подъема на верхней рабочей частоте устанавливается в обеих схемах выбором сопротивления резистора R_7.

Величина подъема в первой схеме определяется отношением $Z_{рез}/R_6$. Чем больше резонансное сопротивление контура по сравнению с сопротивлением R_6, тем больше подъем.

Элементы двойного Т-образного моста можно рассчитать по формуле

$$f_р = \frac{160\,000}{RC},$$

где $f_р$ — частота максимального подъема, *гц*; R — сопротивление, *ом*, C — емкость, *мкф*, причем $R=R_8=R_9=2\,R_{10}$ и $C=C_5=C_6=0{,}5\,C_4$.

Чем с большей точностью выбраны элементы двойного Т-образного моста, тем больше получается подъем на верхней рабочей частоте.

Коэффициент усиления рассмотренных усилителей с обратной связью должен выбираться на верхней рабочей частоте по крайней мере в 2—3 раза меньшим, чем произведение коэффициентов усиления β_1 и β_2. Чем меньше коэффициент усиления усилителя, тем более стабильна его частотная характеристика и меньше ее зависимость от параметров транзисторов T_1 и T_2.

Рассмотренные схемы частотной коррекции в усилителе записи обладают практически одинаковыми частотными характеристиками и коэффициентами усиления. В усилителе записи, схема которого приведена на рис. 23, можно получить больший подъем усиления на высших частотах (что бывает необходимо при скорости ленты 4,76 *см/сек*), если параллельно сопротивлению резистора R_4 включить двойной Т-образный мост. В этом случае вместо резистора R_4 целесообразно применить потенциометр, которым можно в широких пределах регулировать подъем на верхних частотах. Частотные характеристики усилителя будут такими, как и в схеме, приведенной на рис. 25.

Необходимо отметить недостаток схемы с двойным Т-образным мостом, который заключается в том, что на всех частотах, кроме $f_р$, мост поворачивает фазу напряжения обратной связи, и за пределами рабочего диапазона обратная связь может перейти в положительную и возбудить усилитель. Поэтому схему с двойным Т-образным мостом не рекомендуется использовать для получения подъема частотной характеристики, большего чем 12—15 *дб*. В этом отношении более устойчивой является схема с колебательным контуром в цепи обратной связи (рис. 24).

Практические схемы усилителей записи

Рассмотрим в заключение две схемы усилителей записи.

Первая схема приведена на рис. 26. Усилитель пятикаскадный имеет два входа и предназначен для работы с головкой записи,

имеющей индуктивность 60 *мгн*. На транзисторах T_1 и T_2 собран микрофонный усилитель. Стабилизация рабочей точки транзисторов осуществляется с помощью резисторов R_1 и R_3, включенных между коллектором и базой каждого транзистора, и диодов $Д_1$ и $Д_2$ в цепях эмиттеров. Входное сопротивление микрофонного усилителя около 10 *ком*. На его выходе включен регулятор уровня записи с микрофона. В качестве транзистора T_1 и T_2 используются кремниевые транзисторы П101, П103 с коэффициентом усиления $\beta=15\div20$. Коэффициент усиления микрофонного усилителя 80—100.

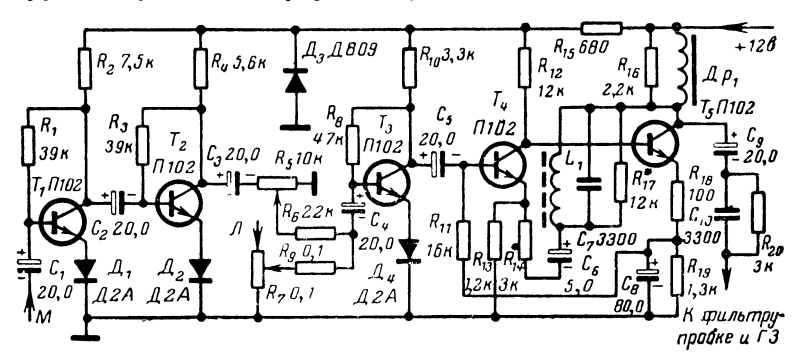


Рис. 26. Первая схема усилителя записи.

Второй вход усилителя (*Л*) предназначен для записи сигналов с выхода усилителя воспроизведения другого магнитофона, детектора радиоприемника и т. д. Для регулирования уровня записи со второго входа предусмотрен второй регулятор уровня — потенциометр R_7. Сигналы с выходов регуляторов уровня через резисторы R_6 и R_9, предназначенные для исключения влияния одного регулятора на другой, поступают на базу транзистора T_3. Коэффициент усиления третьего каскада выбран в пределах 8—10. Коррекция частотной характеристики осуществляется в четвертом и пятом каскадах усилителя, собранных на транзисторах T_4 и T_5. Транзисторы T_3, T_4 и T_5 типов П101—П103 с коэффициентом усиления $\beta=15\div20$. Вместо кремниевых транзисторов можно применить германиевые низкочастотные маломощные транзисторы, например П13Б, П14, П8, П9 Частотная коррекция осуществляется в цепи обратной связи, включенной между коллектором транзистора T_5 и эмиттером T_4. В цепь обратной связи входят элементы R_{14}, C_6, L_1, C_7 и R_{17}. Сигнал с выхода усилителя через стабилизирующую цепочку $R_{20}C_{10}$ и фильтр ($L_ф=20$ *мгн*), не показанный на схеме, поступает на записывающую головку. Колебательный контур, включенный в цепь обратной связи, настроен на частоту 12 *кгц*. Чувствительность усилителя записи с микрофонного входа равна 0,8 *мв*, а со второго входа 0,1 *в*, при этом обеспечивается максимальный ток в головке записи 0,8 *ма* Подъем частотной характеристики на частоте 10 *кгц* по сравнению со средними частотами составляет 18 *дб*

Усилитель предназначен для портативного магнитофона со **скоростью** движения магнитной ленты 9,63 *см/сек*. Если будет вы-

брана скорость 4,76 *см/сек*, необходимо колебательный контур L_1C_7 настроить на частоту 8 *кгц* и установить подъем частотной характеристики на частоте 7 *кгц* не менее 16 *дб*. Должны быть также изменены C_{10} и R_{20}. Новые величины соответственно равны 6 800 *пф* и 2,2 *ком*.

Напряжение питания первых четырех каскадов равно 9 *в*. Оно получается на выходе сглаживающего фильтра, состоящего из резистора R_{15} и стабилитрона $Д_3$ типа Д809. Усилитель записи потребляет от источников питания ток 7—9 *ма* при напряжении 12 *в*.

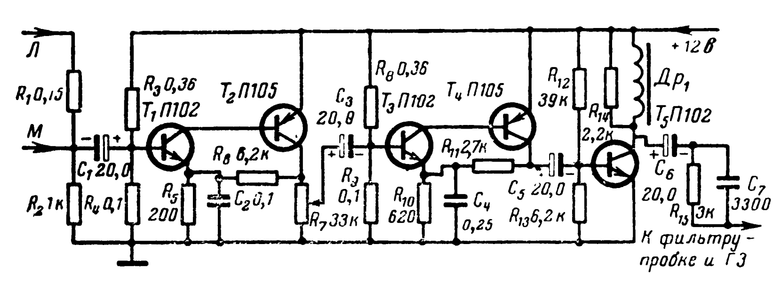


Рис 27 Вторая схема усилителя записи.

Схема второго усилителя записи, предназначенного для портативного магнитофона со скоростью движения ленты 9,5 *см/сек*, приведена на рис. 27. Усилитель рассчитан на работу от микрофона (вход *М*) или линии (вход *Л*). В первом случае входное сопротивление усилителя около 1 *ком*, номинальный входной сигнал 0,5—0,8 *мв*, во втором случае — около 0,15 *Мом* и 0,07—0,12 *в* соответственно. Высокочастотная коррекция характеристики производится в первых четырех каскадах Элементы коррекции включены в цепи обратных связей, которые охватывают первый-второй и третий-четвертый каскады. Между вторым и третьим каскадами включен регулятор уровня записи — потенциометр R_7. Транзисторы T_1, T_3 и T_5 типа *n-p-n* (П101—П103), а транзисторы T_2 и T_4 типа *p-n-p* (П104—П106) с коэффициентами усиления $\beta = 15 \div 20$. Вместо рекомендованных транзисторов П101—П103 можно применить германиевые транзисторы П14, П15, П16, а вместо П104—П106 транзисторы П8 и П10. В этом случае придется только несколько изменить режим последнего каскада (T_5).

Выходной каскад собран на транзисторе T_5 с дросселем в цепи коллектора.

Дроссель собран на сердечнике Ш-12, ширина набора 20 *мм*. Обмотка состоит из 2 000 витков провода ПЭЛ 0,1.

Усилитель предназначен для работы с записывающей головкой, имеющей индуктивность 60 *мгн*. Качественные показатели этого усилителя такие же, как и усилителя, собранного по схеме на рис. 26. При работе в магнитофоне со скоростью ленты 4,76 *см/сек* емкости конденсаторов C_2 и C_4 соответственно изменяют на 0,25 и 0,4 *мкф*, а элементы цепи стабилизации устанавливают соответственно $R_{15} = 2{,}2$ *ком* и $C_7 = 6\,800$ *пф*.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Возможные варианты универсальных усилителей

Роль универсальных усилителей, а соответственно и требования, предъявляемые к ним, не остаются постоянными, а меняются в зависимости от блок-схемы магнитофона.

Первый вариант универсального усилителя — усилитель, работающий при воспроизведении от воспроизводящей (универсальной) головки, а при записи от источника звуковой частоты и нагруженный при воспроизведении на громкоговоритель или головные телефоны, а при записи на записывающую (универсальную) головку. В этом усилителе при переходе от воспроизведения на запись или обратно необходимо изменять частотную характеристику.

Универсальный усилитель может отличаться от рассмотренного тем, что в режиме записи записывающая головка подключается к выходу усилителя через специальный корректор. В этом случае никаких переключений внутри усилителя не производится.

Наконец, возможен третий вариант, когда универсальный усилитель имеет в рабочем диапазоне частот равномерную частотную характеристику. При воспроизведении сигнал на вход универсального усилителя подается не непосредственно от головки, а через предварительный усилитель, в котором осуществляется необходимая частотная коррекция. При записи между головкой и универсальным усилителем включается пассивный четырехполюсник — корректор. При этом внутри самого универсального усилителя никаких переключений не производят. Наибольший интерес представляет рассмотрение первых двух вариантов, так как в третьем варианте универсальный усилитель представляет собой обычный усилитель низкой частоты, а корректор лишь немногим отличается от корректора, применяемого во втором варианте.

Рассмотрим первый универсальный усилитель. В режиме воспроизведения усилитель должен развивать мощность, необходимую для нормальной работы имеющегося в портативном магнитофоне динамического громкоговорителя, т. е. примерно 0,25—1,5 *вт*. В режиме записи оконечный каскад с целью экономии источников питания обычно не используется, но путем соответствующих переключений транзисторы выходного каскада используются в генераторе токов стирания и подмагничивания. Требуемая чувствительность универсального усилителя определяется наименьшим сигналом, который необходимо усилить. В режиме воспроизведения этот сигнал (э. д. с. головки) меньше, чем напряжение, развиваемое микрофоном, поэтому чувствительность выбирается из условия обеспечения при воспроизведении заданной выходной мощности.

Обычно в портативных магнитофонах с универсальным усилителем применяют одну универсальную головку. Очень редко встречаются магнитофоны, имеющие универсальный усилитель и раздельные головки записи и воспроизведения. Преимуществом использования одной универсальной головки являются уменьшение габаритов лентопротяжного устройства и упрощение настройки магнитофонов, так как в этом случае не надо устанавливать рабочие зазоры головок записи и воспроизведения параллельно друг другу. При воспро-

изведении достаточно лишь выставить рабочий зазор по измерительной ленте перпендикулярно направлению движения ленты.

Применение одной универсальной головки приводит к усложнению цепей коммутации, так как головка с помощью этих цепей должна подключаться то ко входу, то к выходу усилителя. Поскольку универсальный усилитель имеет достаточно большой коэффициент усиления, то контактная емкость может вызвать самовозбуждение усилителя воспроизведения, что приводит к необходимости усложнять коммутацию. Помимо переключения головки цепи коммутации служат для изменения частотных характеристик универсального усилителя при переходе с записи на воспроизведение.

Универсальный усилитель, как объединяющий в себе функции усилителей записи и воспроизведения, должен в отношении качественных показателей удовлетворять требованиям, предъявляемым к ним обоим.

В универсальном усилителе, изготовленном по второму варианту, частотная характеристика формируется в режиме записи не в усилителе, а в специальном корректоре, включенном между выходом усилителя и универсальной головкой. В самом усилителе необходимо либо отключать элементы, корректирующие частотную характеристику при воспроизведении, либо в корректоре предусматривать завал нижних частот, т. е. в области нижних частот делать его частотную характеристику обратной частотной характеристике усилителя воспроизведения. Все остальные соображения, изложенные при рассмотрении первого варианта универсального усилителя, справедливы и для второго варианта.

Особенности схем коррекции частотных характеристик усилителей

Особенностью схем коррекции частотных характеристик в универсальных усилителях является то, что в зависимости от режима работы усилителя производится переключение элементов в схемах коррекции. При этом одновременно с переключением элементов коррекции необходимо соответственно изменять коэффициент усиления универсального усилителя, так как в режиме записи требуется меньший коэффициент усиления, чем при воспроизведении.

Изменение частотной характеристики усилителя осуществляется путем перехода с одной из тех схем, которые были рассмотрены применительно к усилителям воспроизведения на одну из схем, применяемых в усилителе записи. Такое переключение производится с помощью многоконтактного переключателя рода работ «запись-воспроизведение». Одновременно с этим этот переключатель осуществляет подключение универсальной головки ко входу или выходу универсального усилителя, включение или выключение генератора стирания и подмагничивания и иногда переключение схемы оконечного каскада усилителя на схему генератора. Для упрощения схемы портативного магнитофона желательно иметь минимальное число переключений. В связи с этим обычно выбирают однотипные схемы коррекции как для режима воспроизведения, так и для режима записи.

Рассмотрим ряд схем коррекции, применяемых в универсальном усилителе, изготовленном по первому варианту.

При сочетании схем с элементами коррекции в коллекторной цепи транзистора (см. рис. 10 и рис. 22) схема корректирующего каскада универсального усилителя примет вид, изображенный на рис. 28. В режиме воспроизведения схема не отличается от схемы, приведенной на рис. 10. При переключении в режим записи, параллельно конденсатору C_3, обеспечивающего подъем на нижних частотах, подключается конденсатор C_2 большой емкости, что приводит к схеме усилителя записи, изображенной на рис. 22. Если требуется

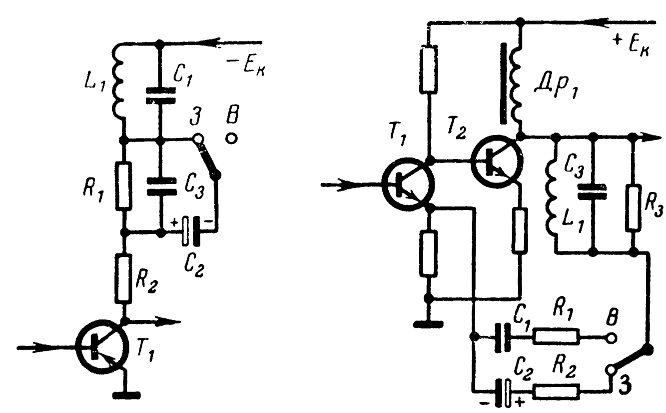


Рис. 28. Схема коррекции универсального усилителя в коллекторной цепи.

Рис. 29. Первая схема коррекции универсального усилителя с частотно-зависимой обратной связью.

различный подъем частотных характеристик на верхней рабочей частоте в режимах воспроизведения и записи, рассмотренную схему надо дополнить еще одной контактной группой и производить переключение резисторов шунтирующих колебательный контур L_1C_1 (на схеме они не показаны).

В универсальном усилителе для изменения частотной характеристики можно переключать корректирующие элементы, включенные в цепь обратной связи. На рис. 29, 30, 31 приведены примеры таких схем.

Рассмотрим схему, изображенную на рис. 29. В режиме воспроизведения подъем на нижних частотах осуществляется включением цепи R_1C_1, а подъем на верхних частотах осуществляется благодаря применению колебательного контура L_1, C_3, R_3. В режиме записи вместо цепи R_1C_1, включается цепь C_2R_2 при этом емкость C_2 выбирается достаточно большой, чтобы практически отсутствовал подъем частотной характеристики на нижних рабочих частотах. Подбором сопротивления R_2 осуществляется изменение коэффициента усиления на нижних и средних частотах универсального усилителя в режиме записи. Если потребуется изменить величину подъема на верхних частотах, то при записи и при воспроизведении поступают таким же образом, как рекомендовано для схемы, приведенной на рис. 28.

На рис. 30 приведена схема частотной коррекции универсального усилителя, соответствующая схемам, изображенным на рис. 12 и рис. 23. Здесь также производится переключение цепи R_3C_2, осуществляющей подъем на нижних частотах, на цепь, состоя-

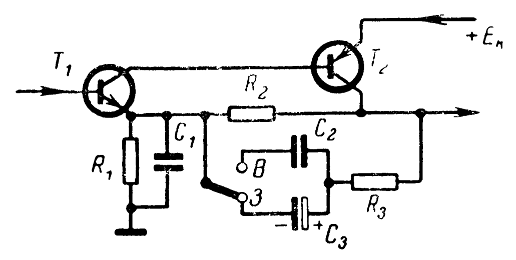


Рис. 30. Вторая схема коррекции универсального усилителя с частотно-зависимой обратной связью.

щую из резистора R_3 и конденсатора C_3 большой емкости. Подъем на высших частотах определяется емкостью C_1, изменяя величину последней, изменяют подъем частотной характеристики в режиме воспроизведения и записи. Разновидностью схемы является схема, изображенная на рис. 31. В этой схеме последовательно с RC цепя-

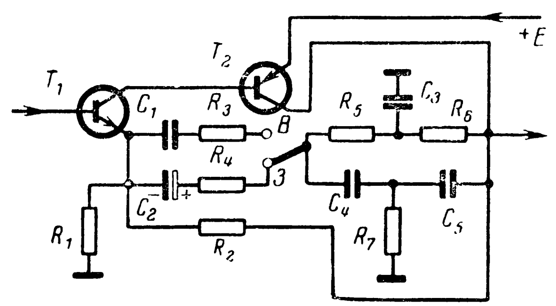


Рис. 31. Схема коррекции универсального усилителя с двойным Т-образным мостом в цепи обратной связи.

ми включен двойной Т-образный мост. Параметры RC цепи в режиме воспроизведения выбираются из условия обеспечения требуемого подъема частотной характеристики усилителя на нижних частотах, а в режиме записи — из условия отсутствия этого подъема.

Изменяя сопротивление резистора R_4, производят выбор необходимого коэффициента усиления усилителя в режиме записи в области средних и нижних частот.

Схемы каскадов универсальных усилителей, с которых снимается напряжение звуковой частоты для питания записывающей головки, практически не отличаются от рассмотренных ранее схем выходных

каскадов усилителей записи. Аналогично, как и там, производится смешение токов звуковых частот и тока подмагничивания.

В заключение необходимо отметить склонность универсальных усилителей к самовозбуждению из-за наличия переключателя рода работы («запись-воспроизведение»). Для уменьшения габаритов портативных магнитофонов эти переключатели (например, галетного типа или клавишные) стараются применять наименьших размеров, что требует тщательной экранировки всех цепей, идущих от соответствующих точек универсального усилителя к переключателю, и рационального размещения элементов усилителя и контактов переключателя.

Практические схемы универсальных усилителей

На рис. 32 приведена схема универсального усилителя, рассчитанного на работу с раздельными головками записи и воспроизведения. Воспроизводящая головка высокоомная с индуктивностью 1,0—1,5 *гн* и рабочим зазором 5 *мк*, а записывающая — низкоомная с индуктивностью около 10 *мгн* и рабочим зазором 8—10 *мк*. Уси-

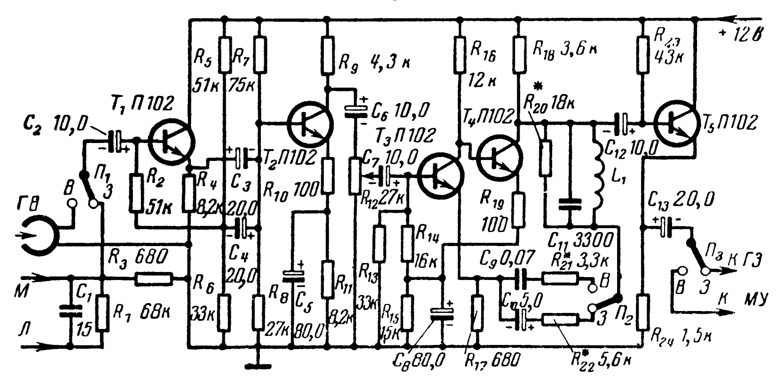


Рис. 32. Первая схема универсального усилителя.

литель применяется при скорости ленты 9,53 *см/сек*. На схеме не изображены каскады мощного усилителя и цепи питания головки записи, так как они ничем не отличаются от рассмотренных ранее.

Первый каскад усилителя собран на транзисторе T_1 по схеме, обеспечивающей высокое входное сопротивление ($R_{вх}=0,5$ *Мом*). Для увеличения стабильности коэффициента усиления (при смене транзисторов) второй каскад охвачен отрицательной обратной связью (незашунтированный емкостью резистор R_{10} в цепи эмиттера). Коэффициент усиления первых двух каскадов около 20 при коэффициенте усиления транзисторов β_1 и β_2 в пределах 30—80. На выходе второго каскада включен потенциометр R_{12}, с помощью которого в режиме воспроизведения устанавливают необходимый уровень воспроизведения, а в режиме записи — уровень записи. Третий и четвертый каскады (транзисторы T_3 и T_4) охвачены частотно-зависимой обратной связью. Подъем на верхних частотах осуществляет-

ся с помощью колебательного контура $L_1C_{11}R_{20}$, настроенного на частоту 9 *кгц*. В режиме записи последовательно с контуром включается *RC* цепь $C_{10}R_{22}$, а в режиме воспроизведения цепь $R_{21}C_9$ для подъема на нижних частотах.

Коэффициент усиления третьего и четвертого каскадов на средних частотах в режиме воспроизведения равен приблизительно 5, а в режиме записи он увеличивается до 8. При воспроизведении сигнал через эмиттерный повторитель (транзистор T_5) поступает на мощный усилитель, а при записи — на головку записи. Коэффициенты усиления β транзисторов T_3, T_4 и T_5 могут быть выбраны в пределах 15—80. Все транзисторы, применяемые в усилителе, крем-

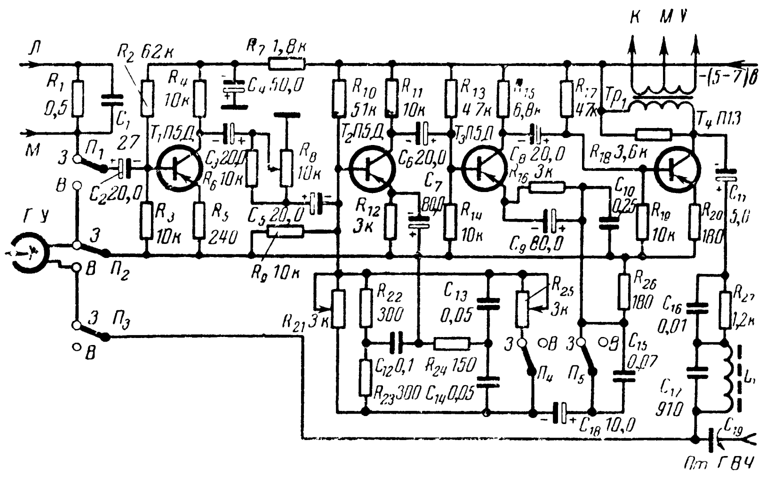


Рис. 33 Вторая схема универсального усилителя.

ниевые типов П101—П103. Могут быть использованы и германиевые низкочастотные маломощные транзисторы, однако при этом не исключена необходимость подбора их режимов.

Чувствительность усилителя с микрофонного входа ($R_{вх}=600$ *ом*) 3 *мв*, а с линейного входа ($R_{вх}=68$ *ком*) 0,2 *в*.

При уменьшении скорости ленты до 4,76 *см/сек* необходимо только соответствующим образом изменить параметры цепей коррекции и цепи стабилизации нагрузки.

На рис. 33 изображена вторая схема универсального усилителя, рассчитанного на скорость ленты 9,53 *см/сек* и работу с одной универсальной головкой индуктивностью 30 *мгн* и рабочим зазором около 3 *мк*.

Первый каскад собран по схеме с общим эмиттером на транзисторе T_1. Для получения входного сопротивления около 8 *ком* и стабилизации режима в эмиттерной цепи включен резистор R_5, незашунтированный конденсатором. На выходе первого каскада производится регулирование либо уровня записи, либо уровня воспроизведения в зависимости от режима работы. Транзистор T_1 типа П5Д с коэффициентом усиления $\beta=30\div40$.

Второй и третий каскады (транзисторы T_2 и T_3 типа П5Д с $\beta=30\div40$) охвачены частотно-зависимой обратной связью. В режиме воспроизведения низкочастотная коррекция осуществляется цепью, состоящей из конденсатора C_{15} и входного сопротивления транзистора T_2, которое с учетом сопротивлений делителя и сопротивлений резисторов R_8 и R_6 составляет около 3 *ком*, а высокочастотная — двойным Т-образным мостом, состоящим из R_{22}, R_{23}, R_{24}, C_{12}, C_{13} и C_{14}. Подъем верхних частот устанавливается изменением сопротивления резистора R_{21}, шунтирующего двойной Т-образный мост. В режиме записи конденсатор C_{15} закорачивается, что приводит к выключению низкочастотной коррекции. Подъем на верхних частотах регулируется резистором R_{25}. Дополнительный подъем на верхних частотах, начиная с 1—2 *кгц*, осуществляется включением конденсатора C_{10} параллельно резистору R_{26}, с которого снимается напряжение обратной связи. Коэффициент усиления второго и третьего каскада равен 12—15.

С выхода третьего каскада сигнал поступает на предоконечный усилитель, собранный на транзисторе T_4 типа П13 ($\beta\approx30$). С выхода четвертого каскада напряжение звуковых частот через цепь стабилизации нагрузки усилителя ($R_{27}C_{16}$) и фильтр ($L_1\approx10$ *мгн*), настроенный на частоту тока подмагничивания, подается в режиме записи на универсальную головку. Кроме того, напряжение звуковых

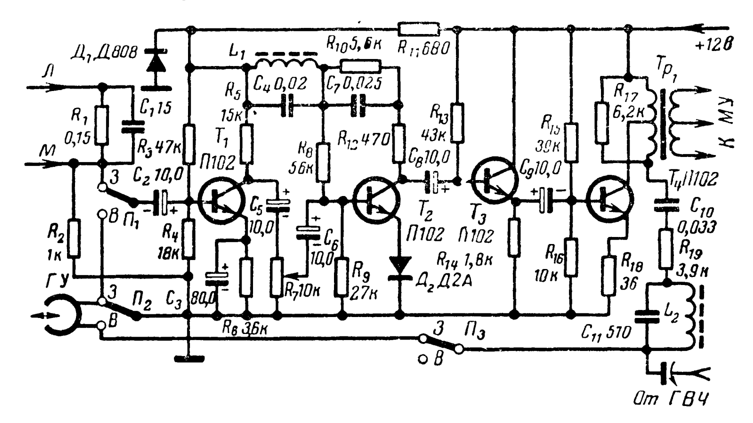


Рис. 34. Третья схема универсального усилителя.

частот через трансформатор Tp_1 поступает на мощный усилитель, который на схеме не показан. Данные этого трансформатора аналогичны данным трансформатора *Тр* усилителя, схема которого была приведена на рис. 15.

Рассмотренный усилитель обеспечивает полосу пропускания канала записи-воспроизведения 50 *гц*—10 *кгц*. Номинальная чувствительность с микрофонного входа при $R_{вх}\approx8$ *ком* равна 1 *мв*, а с линейного входа при $R_{вх}=0,5$ *Мом* — 80 *мв*. Относительный уровень шума — 40 *дб*.

В заключение рассмотрим схему универсального усилителя, изображенную на рис. 34. Это схема второго варианта универсального

усилителя, т. е. усилителя, в котором никаких переключений коррекции при переходе с записи на воспроизведение не производится. Усилитель имеет частотную характеристику, требуемую для воспроизведения. В режиме записи универсальная головка подключается к усилителю через корректор $C_{10}R_{19}$, частотная характеристика которого в области нижних частот обратна характеристике усилителя, благодаря чему устраняется действие ненужного при записи подъема на низких частотах.

Усилитель четырехкаскадный. Первый каскад собран по схеме с общим эмиттером. Режим каскада выбран так, чтобы собственный шум при работе с низкоомной универсальной головкой ($L_г \approx 30$ *мгн*) был минимален. Питание первого и второго каскадов стабилизировано цепочкой $R_{11}Д_1$; в качестве последнего использован стабилитрон Д808. Между первым и вторым каскадами включен регулятор уровня воспроизведения и записи R_7. Второй каскад обеспечивает необходимую частотную коррекцию при воспроизведении с помощью цепи $R_{10}C_7$ и колебательного контура L_1C_4.

Третий каскад собран на транзисторе T_3 по схеме эмиттерного повторителя. Выходным каскадом в режиме записи и предоконечным в режиме воспроизведения является четвертый каскад на транзисторе T_4. В коллекторную цепь этого транзистора включен трансформатор $Тр_1$, с которого напряжение звуковых частот поступает при воспроизведении на мощный усилитель, не показанный на схеме. С первичной обмотки сигнал поступает также в цепь $R_{19}C_{10}L_2$ и C_{11}. В режиме записи указанная цепь осуществляет завал нижних частот и препятствует проникновению тока подмагничивания в усилитель. Постоянная времени цепи $R_{19}C_{10}$ выбирается одинаковой с постоянной времени цепи R_{10}, C_7. Индуктивность контура фильтра $L = 20$ *мгн*. Так как универсальная головка в режиме записи потребляет ток 0,2 *ма*, то необходимое напряжение питания цепи головки равно 10 *в*, поэтому первичная обмотка трансформатора $Тр_1$ имеет отвод (коэффициент трансформации выбран 3 : 1). Трансформатор $Тр_1$ собран на сердечнике Ш-12 с шириной набора 20 *мм*. Первичная обмотка содержит 4 800 витков провода ПЭЛ 0,08 с отводом от одной трети.

Меньшая часть первичной обмотки включена в цепь коллектора транзистора T_4. Вторичная обмотка содержит 500 витков провода ПЭЛ 0,1 с отводом от середины.

Недостатком схемы является применение трансформатора $Тр_1$ с большим числом витков в первичной обмотке. Кроме того, для обеспечения необходимой чувствительности усилителя транзисторы T_1—T_4 должны иметь большой коэффициент усиления $\beta \geqslant 40$. Качественные показатели усилителя хуже по сравнению с предыдущими. В связи с этим рассмотренную схему целесообразно использовать только в диктофонах или портативных магнитофонах чрезвычайно малых размеров, где с указанными недостатками можно мириться. Чувствительность усилителя и входное сопротивление соответственно равны для микрофонного входа 1—2 *мв* при 0,9 *ком* и для линейного входа 0,15—0,3 *в* при 0,15 *Мом*.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ГЕНЕРАТОРЫ ТОКОВ СТИРАНИЯ И ПОДМАГНИЧИВАНИЯ

Основные особенности и требования

Наиболее совершенным способом магнитной звукозаписи является запись с использованием высокочастотного подмагничивания и высокочастотного стирания.

Даже в портативных магнитофонах в настоящее время практически не применяется стирание и подмагничивание постоянным током в связи с тем, что при этом качественные показатели магнитофона резко ухудшаются.

Для обеспечения высокочастотного стирания и подмагничивания в магнитофоне должен быть специальный генератор. В некоторых портативных магнитофонах с целью уменьшения габаритов и потребления энергии от источников питания высокочастотное стирание отсутствует, имеется только маломощный генератор тока подмагничивания. В этом случае запись производят на предварительно размагниченную ленту.

Генераторы токов стирания и подмагничивания должны в первую очередь обеспечивать: достаточную мощность, необходимую для питания головок стирания и записи, симметричную форму токов подмагничивания и стирания.

Чем выше частота тока стирания, тем большая мощность должна подводиться от генератора к головке стирания. Это объясняется тем, что с увеличением частоты увеличиваются потери в сердечнике головки. В связи с этим желательно выбирать частоту тока стирания не слишком высокой, чтобы избежать излишнего расхода источников питания. Минимально допустимая частота тока стирания зависит от скорости движения ленты и данных головки. Чем выше скорость и уже рабочий зазор, тем частота должна быть выше.

При стирающей головке с рабочим зазором 0,1—0,2 *мм* и скорости ленты 19,05 *см/сек* частота тока стирания должна быть не менее 20 *кгц*.

Частота тока подмагничивания должна быть, по крайней мере, в 3—4 раза выше верхней записываемой частоты, например для полосы записываемых частот до 10 *кгц* частота тока подмагничивания должна быть не менее 30—40 *кгц*. В большинстве портативных магнитофонов используют общий генератор для стирания и подмагничивания. Как видно из приведенных примеров, частота генератора должна при этом выбираться из условий подмагничивания.

Иногда, чтобы не увеличивать мощность, подводимую к головке стирания, применяют генератор с частотой колебаний 20 *кгц*, а для подмагничивания используют вторую гармонику. Подобная схема будет рассмотрена ниже.

Весьма жесткие требования предъявляются к генератору в отношении формы тока подмагничивания. При этом колебания не обязательно должны быть синусоидальными, они могут быть даже прямоугольной формы, но их максимальные положительное и отрицательное значения должны быть обязательно равны. Даже такая небольшая асимметрия тока подмагничивания, как 1%, увели-

чивает шум ленты на 4 *дб*. Поскольку асимметрия создается четными гармониками основного колебания, то отсюда вытекает требование к генератору — отсутствие четных гармоник на его выходе.

К стабильности частоты и амплитуды токов подмагничивания и стирания особенно жестких требований не предъявляется. Для портативных магнитофонов с собственными источниками питания допускается изменение частоты и амплитуд токов на ±5% при уменьшении напряжения питания на 10—15%.

При конструировании магнитофонов необходимо свести к минимуму наводку от генератора на усилители, особенно на входные каскады. В противном случае они будут перегружаться и это приведет к появлению дополнительных нелинейных искажений.

Практические схемы генераторов

Генераторы, применяемые в портативных магнитофонах, обычно собираются по однотактным или двухтактным схемам. Двухтактные генераторы обеспечивают лучшую симметрию формы тока подмагничивания. Поэтому их целесообразно применять в портативных магнитофонах повышенного качества. В упрощенных магнитофонах и диктофонах более выгодным является применение однотактных генераторов.

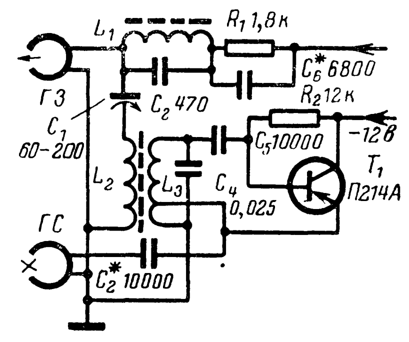


Рис. 35. Схема однотактного генератора с параллельным смешиванием токов звуковой частоты и подмагничивания.

На рис. 35 изображена схема однотактного генератора. В качестве транзистора T_1 можно использовать любые транзисторы средней мощности, например П201, П202, П203, П4 П213, П214. Лучшие результаты получаются при применении транзисторов П213 и П214. Контур генератора настроен на частоту 40 *кгц*. Напряжение на низкоомную стирающую головку снимается с эмиттерного отвода первичной обмотки контура L_3. Конденсатор C_2 вместе с индуктивностью стирающей головки образует последовательный резонансный контур, настроенный на частоту генератора. Напряжение подмагничивания на записывающую (универсальную) головку снимается со вторичной обмотки контура генератора L_2 через конденсатор C_1, с помощью которого производится установка оптимального тока подмагничивания. На схеме изображена также цепь питания записывающей (универсальной) головки током звуковой частоты. Эта цепь состоит из фильтра L_1C_2 и цепи стабилизации нагрузки выходного каскада усилителя, состоящей из R_1 и C_6. Фильтр настраивается в резонанс на частоту генератора.

Режим работы транзистора устанавливается путем подбора резистора R_2. В данной схеме могут быть использованы транзисторы с коэффициентом усиления $\beta = 10 \div 30$. Для улучшения формы тока

подмагничивания можно включить в цепь эмиттера транзистора резистор сопротивлением 100—200 *ом*. Точную величину сопротивления подбирают практически, наблюдая форму тока подмагничивания на осциллографе.

Контур генератора выполнен на ферритовом кольце ($\mu=600$) с внешним диаметром 20 *мм*, внутренним 12 *мм* и высотой 6 *мм*. Первичная обмотка (L_3) намотана проводом ПЭЛШО 0,35 и состоит из 80 витков с отводом от середины. Вторичная обмотка (L_2) намотана проводом ПЭЛШО 0,1 и состоит из 360 витков.

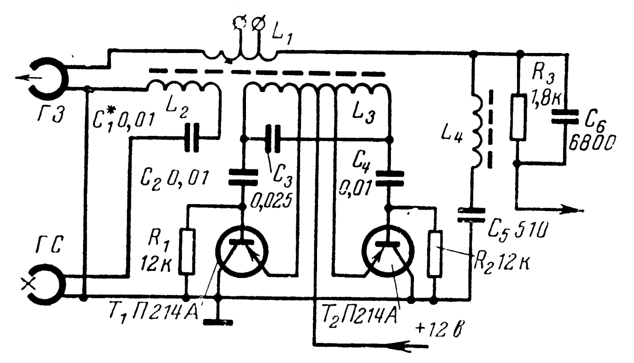


Рис. 36. Схема двухтактного генератора с последовательным смешиванием токов звуковой частоты и подмагничивания.

Рассмотренный генератор обеспечивает ток стирания около 60 *ма* в стирающей головке с ферритовым сердечником (индуктивность 1,5 *мгн*) и ток подмагничивания не менее 4 *ма* в универсальной головке с индуктивностью 60 *мгн*. При напряжении питания 12 *в* генератор потребляет мощность, не превышающую 0,75 *вт*, к. п. д генератора около 60%.

На рис. 36 приведена схема двухтактного генератора с последовательной схемой смешения токов звуковой частоты и подмагничивания. В качестве транзисторов T_1 и T_2 могут быть использованы любые транзисторы средней мощности с коэффициентом усиления $\beta=10\div30$.

Контур генератора настраивается подбором конденсатора C_3 на частоту 40 *кгц*. Режим транзисторов устанавливается подбором резисторов R_1 и R_2. Головка стирания питается от дополнительной обмотки (L_2) через конденсатор C_1, величина которого подбирается при настройке генератора так, чтобы получить максимум тока в головке стирания. Последовательно с записывающей (универсальной) головкой включена обмотка связи с контуром генератора L_1. Для того чтобы ток подмагничивания замыкался через головку, минуя усилитель, в схеме применен фильтр в виде последовательного резонансного контура L_4C_5, настроенного на частоту генератора. Резистор R_3 и конденсатор C_6 образуют цепь стабилизации нагрузки выходного каскада усилителя записи Для получения хорошей формы тока подмагничивания необходимо тщательно подобрать транзисторы T_1 и T_2, чтобы их характеристики отличались не более, чем

на 5%. Если отсутствует возможность подбора транзисторов, то можно включить последовательно в цепи эмиттеров переменные резисторы (100—200 *ом*) и произвести согласование схемы. Однако в этом случае к. п. д. генератора существенно снизится, что является нежелательным для портативных магнитофонов с собственными источниками питания.

Контур генератора выполнен на ферритовом сердечнике ($\mu = 600$). Размеры кольца: внешний диаметр — 25 *мм*, внутренний — 15 *мм*, высота — 8 *мм*. Обмотка L_3 намотана проводом ПЭЛШО 0,35 и состоит из 60 витков с отводами от 15, 30, 45 витков. Обмотка L_2

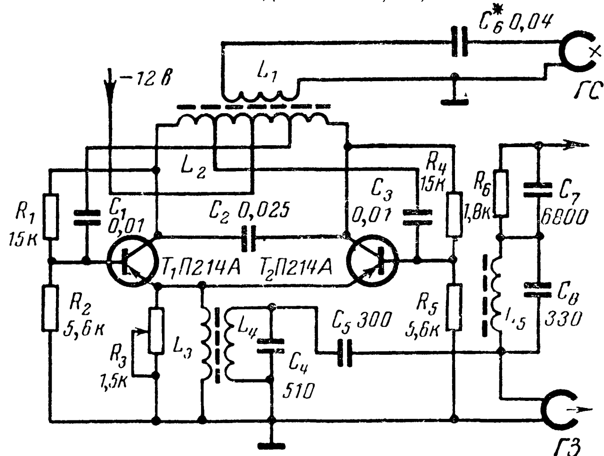


Рис. 37. Схема двухтактного генератора с использованием второй гармоники коллекторного тока для получения более высокой частоты подмагничивания.

состоит из 20 витков того же провода. Обмотка L_1 состоит из 200 витков с отводами от 100, 140, 170 витков провода ПЭЛШО 0,1. Желательно сделать больше отводов, которые служат для подбора оптимального тока подмагничивания.

Генератор обеспечивает ток стирания 80—100 *ма* в стирающей головке с ферритовым сердечником (индуктивность около 1,5 *мгн*) и ток подмагничивания не менее 4 *ма* в головке записи (универсальной) при индуктивности около 60 *мгн*. При напряжении питания 12 *в* генератор потребляет мощность 0,8 *вт*, к. п. д. генератора около 70%.

Преимуществом схем на рис. 35 и 36 является то, что они являются схемами с общим коллектором. Это позволяет транзисторы укрепить непосредственно на плате лентопротяжного устройства, что обеспечивает хороший теплоотвод от транзисторов. Кроме того, сохраняется возможность питания портативного магнитофона от аккумулятора автомобиля (минусовый провод аккумулятора на всех современных автомобилях соединен с корпусом).

На рис. 37 приведена еще одна схема двухтактного генератора весьма целесообразного для портативных магнитофонов. В этом

генераторе первая гармоника ($f_c \approx 20$ *кгц*) используется для стирания, а вторая гармоника — для подмагничивания.

Генератор собран по схеме с автотрансформаторной связью на транзисторах T_1 и T_2, в качестве которых могут быть использованы любые транзисторы средней мощности с коэффициентом усиления β не менее 20. В коллекторные цепи транзисторов включен контур, образованный индуктивностью L_2 и емкостью C_2, настроенный на частоту 20 *кгц*.

С отводов первичной обмотки L_2 обратная связь подается на базы транзисторов T_1 и T_2 соответственно через конденсаторы C_1 и C_3 Режимы транзисторов устанавливаются подбором резисторов R_1, R_2, R_4, R_5.

Со вторичной обмотки контура L_1 напряжение стирания через конденсатор C_6, емкость которого подбирается при регулировании генератора, подается на головку стирания.

В эмиттерных цепях транзисторов включена первичная обмотка высокочастотного трансформатора L_3 и потенциометр R_3

Вторичная обмотка L_4 этого трансформатора с помощью конденсатора C_4 настраивается на вторую гармонику (около 40 *кгц*). Со вторичной обмотки напряжение подмагничивания через конденсатор C_5 подается на головку записи (универсальную). Ток подмагничивания в головке записи регулируется потенциометром R_3. В схеме применен фильтр L_7C_8, настроенный в резонанс с частотой подмагничивания. Резистор R_6 и конденсатор C_7 образуют цепь стабилизации нагрузки выходного каскада усилителя записи.

Контур генератора собран на таком же ферритовом кольце, а первичная и вторичная обмотки содержат то же число витков, что и в схеме, приведенной на рис. 36. Высокочастотный трансформатор намотан на ферритовом кольце ($\mu = 600$) с внешним диаметром 20 *мм*, внутренним 12 *мм* и высотой 6 *мм*. Первичная обмотка намотана проводом ПЭЛШО 0,41 и содержит 30 витков Вторичная обмотка состоит из 400 витков провода ПЭЛШО 0,1 *мм*

Генератор обеспечивает ток стирания 80—100 *ма* в ферритовой стирающей головке ($L_c \approx 1{,}5$ *мгн*) и ток подмагничивания около 4 *ма* в записывающей головке ($L_3 \approx 60$ *мгн*). При этом от источника постоянного напряжения 12 *в* генератор потребляет мощность менее 0,7 *вт* при к. п. д. около 60%. Применение стирающей головки с сердечником из пермаллоя приводит к увеличению потребляемой мощности только на 20%, что объясняется достаточно низкой частотой тока стирания.

Во всех рассмотренных выше схемах генераторов применяются фильтры, не допускающие проникновения тока подмагничивания в усилитель записи. Катушка фильтра наматывается на ферритовом кольце ($\mu = 600$) с внешним диаметром 12 *мм*, внутренним 7 *мм*, высотой 5 *мм*. Обмотка состоит из 1 800—2 000 витков провода ПЭЛ 0,1.

В некоторых случаях форму тока подмагничивания можно существенно улучшить, шунтируя головку записи конденсатором небольшой емкости (30—300 *пф*). Емкость выбирается так, чтобы в сочетании с индуктивностью головки она образовывала контур, настроенный в резонанс на частоту подмагничивания. Это мероприятие возможно, если головка имеет небольшую индуктивность и малую собственную емкость.

При конструировании портативного магнитофона с малым потреблением энергии можно отказаться от генератора стирания. В этом случае запись производится на предварительно размагниченную ленту. Размагничивание можно производить либо на другом магнитофоне или специальным размагничивающим электромагнитом, питаемым от сети переменного тока. В таких магнитофонах можно использовать схемы генераторов, приведенные на рис. 35 и 36, исключив из них цепи питания головок стирания и заменив транзисторы средней мощности маломощными низкочастотными транзисторами, например П13—П15, П8—П11, П101—П106. Кроме того, для уменьшения габаритов генераторов тока подмагничивания целесообразно применить ферритовые тороидные сердечники меньшего размера, чем те, которые указывались выше, и произвести намотку обмоток проводом ПЭЛШО 0,1 *мм.* Соответственно необходимо увеличить число витков в каждой обмотке.

Для уменьшения влияния генератора на усилитель необходимо генератор монтировать компактно и желательно поместить его в металлический экран. Кроме указанных мер, ослабляющих высокочастотное излучение, можно применить меры защиты от действия этого излучения. Для этой цели в усилителях записи и воспроизведения в цепи эмиттеров входных каскадов можно включить фильтры, аналогичные фильтрам в цепях головок записи. На резонансной частоте сопротивление фильтра резко возрастает, и в каскаде возникает сильная отрицательная обратная связь по току, что приводит к значительному ослаблению усиления каскада на частоте колебаний генератора. Целесообразность применения этих фильтров устанавливается экспериментально при налаживании магнитофона.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ИНДИКАТОРЫ УРОВНЯ ЗАПИСИ

Требования, предъявляемые к индикаторам уровня записи

Под уровнем записи понимают величину полезной намагниченности ленты, на которой произведена запись. Эта величина в процессе записи не остается постоянной, а все время меняется. Чем выше уровень записи, тем меньший коэффициент усиления должен иметь усилитель воспроизведения и тем легче обеспечить перекрытие полезным сигналом собственных шумов усилителя. Однако безгранично увеличивать уровень записи нельзя, так как это связано с заходом в нелинейную область рабочей характеристики намагничивания ленты и резким ростом нелинейных искажений. В связи с этим устанавливается некоторая максимальная величина уровня записи. Так, например, для магнитофонов широкого применения максимальный

уровень записи соответствует эффективному значению магнитного потока 160 *пвб.*

При этой величине коэффициент гармонических искажений в ленте не превышает 3%.

Определение уровня записи важно производить в процессе самой записи с тем, чтобы иметь возможность своевременно исправлять его отклонения за установленные пределы. Если портативный магнитофон имеет сквозной канал записи и воспроизведения, то определение уровня записи производят следующим образом. Воспроизводят специальную измерительную ленту (ЛИР), первая часть которой содержит запись сигнала 400 *гц* с максимальным уровнем записи и измеряют выходное напряжение магнитофона Далее при записи контролируют выходное напряжение и по нему судят об уровне записи.

Более сложным является определение уровня записи, когда портативный магнитофон не имеет сквозного канала и содержит один универсальный усилитель. В этом случае поступают следующим образом. Производят ряд записей сигнала 400 *гц* при разных напряжениях, подводимых к универсальной головке или к выходному каскаду универсального усилителя. Сравнивая при воспроизведении полученные записи с измерительной лентой находят запись, в которой уровень равен максимальному, и определяют соответствующее этой записи напряжение, подводимое к универсальной головке или к выходному каскаду универсального усилителя. В дальнейшем производят запись так, чтобы это напряжение не превышало найденной величины. Такой способ определения уровня записи дает правильный результат только для той ленты, на которой производились пробы. Применение другой ленты, имеющей большую или меньшую чувствительность, будет приводить к некоторой ошибке, с чем приходится в большинстве случаев мириться.

Из сказанного следует, что для измерения уровня записи необходимо измерять либо напряжение звуковых частот на выходе усилителя воспроизведения, либо напряжение, подводимое к универсальной головке или к выходному каскаду универсального усилителя. В обоих случаях измерение производится с помощью индикатора уровня записи

К индикаторам уровня записи предъявляются следующие требования· чувствительность индикатора уровня должна соответствовать напряжению, подводимому к нему в магнитофоне, индикатор уровня не должен вносить искажения в измеряемый сигнал; индикатор уровня должен иметь достаточный диапазон измерений и обеспечивать удобный отсчет уровня записи (для любительских целей достаточен диапазон измерений 12—18 *дб*, что соответствует отношению крайних измеряемых величин 4—6 : 1), индикатор уровня записи должен иметь определенную инерционность или, как говорят, постоянную времени, индикатор уровня записи портативного магнитофона должен быть экономичным.

Остановимся подробнее на выборе постоянной времени индикатора уровня. Индикатор уровня используется для измерения быстро меняющихся по амплитуде напряжений, и он должен успевать реагировать на эти изменения. В противном случае они не будут отмечены индикатором и могут возникнуть искажения из-за слишком сильного намагничивания ленты.

Постоянная времени индикатора τ показывает минимальную длительность импульса напряжения звуковой частоты, которая может быть им еще отмечена.

В магнитофонах профессионального назначения применяются индикаторы с малым значением $\tau = 10 \div 20$ *мсек*. Однако из-за своей сложности они в любительской практике распространения не получили. В магнитофонах широкого применения используют индикаторы с постоянной времени $\tau \approx 200$ *мсек*. Кратковременные повышения уровня, длящиеся менее 200 *мсек*, практически ими не регистрируются. Однако с этим приходится мириться или в особо ответственных записях не допускать по индикатору максимального уровня записи.

Практические схемы индикаторов уровня записи

В магнитофонах широкого применения распространены индикаторы уровня с электронно-оптическим указателем. Они просты и дешевы. Однако в портативных магнитофонах такой тип индикатора из-за большой мощности, потребляемой от источников питания, мало пригоден и обычно используют индикаторы других типов — со стрелочным прибором или с газосветной лампой.

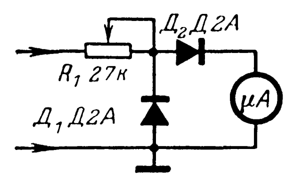


Рис. 38. Схема индикатора среднего уровня.

Стрелочные индикаторы уровня записи. Схема простейшего индикатора уровня записи приведена на рис. 38. Индикатор представляет собой обычный вольтметр переменного тока. В качестве измерителя используется магнитоэлектрический прибор с полным отклонением стрелки при токе не больше 100 *мка*. Чувствительность индикатора зависит от чувствительности прибора и сопротивления R_1. Недостатками его являются: малое входное сопротивление, малая чувствительность и в связи с этим возникают трудности при включении индикатора в схему портативного магнитофона. В качестве измерителя можно использовать следующие типы магнитоэлектрических приборов.

М130 — миниатюрный прибор, габариты 66×55×55 *мм*, вес 110 *г*. Ток полного отклонения 10 *мка* при основной погрешности 5%, 50 *мка* при основной погрешности ±2,5%. Длина шкалы 30 *мм*.

М132 — габариты 80×80×62 *мм*, вес 200 *г*. Ток полного отклонения от 10 до 300 *мка*. Класс точности 1,5, длина шкалы 50 *мм*.

М260 — габариты 56×43×43 *мм*, вес 150 *г*. Ток полного отклонения от 100 до 1 000 *мка*. Класс точности 2,5%.

Более современной является схема, приведенная на рис. 39. Этот индикатор отличается бóльшим быстродействием. Для увеличения чувствительности и входного сопротивления применен усилитель на транзисторе T_1, в качестве которого могут быть использованы любые низкочастотные маломощные транзисторы с $\beta = 15 \div 30$. Усиленный сигнал выпрямляется выпрямителем, собранным по схеме удвоения напряжения. Требуемая чувствительность индикатора уровня устанавливается резистором R_1 при налаживании магнитофона. В качестве измерителей могут быть использованы те же приборы

магнитоэлектрической системы, что и в индикаторе, схема которого приведена на рис. 38.

В стрелочных индикаторах целесообразно иметь переключатель, подсоединяющий магнитоэлектрический прибор к источникам питания магнитофона, с целью контроля их напряжения. Это позволяет производить зарядку, если используются аккумуляторы, или замену источников питания, если используются химические источники.

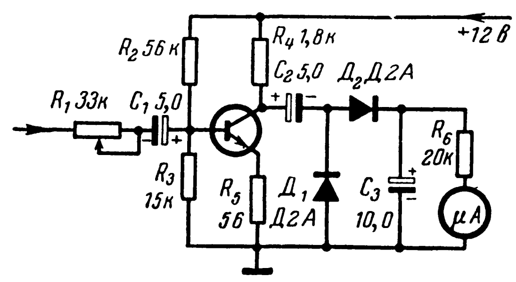


Рис. 39. Схема индикатора максимального уровня.

Индикаторы с газосветными лампами. В более простых и миниатюрных портативных магнитофонах можно отказаться от стрелочных индикаторов уровня, так как последние имеют достаточно большие веса и габариты, и применить индикаторы с газосветными (например, неоновыми) лампами. Применение газосветных ламп в индикаторах основано на том, что их свечение наступает лишь при достижении напряжения на электродах определенной величины (напряжение зажигания). В этом случае производится не измерение уровня, а контроль его максимально допустимой величины. На рис. 40 приведена практически схема такого индикатора.

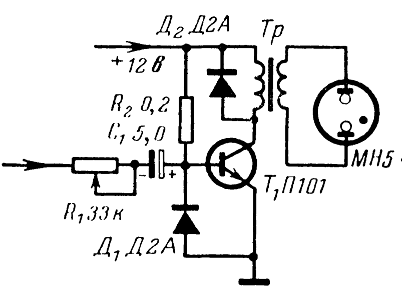


Рис. 40. Схема индикатора уровня с неоновой лампой.

Контролируемый сигнал через регулировочный потенциометр R_1 поступает на вход усилителя, собранного на транзисторе T_1 (может быть использован любой маломощный низкочастотный транзистор с коэффициентом усиления $\beta = 10 \div 30$). Нагрузкой транзистора T_1 является первичная обмотка импульсного трансформатора $Тр$. Первичная обмотка транзистора шунтирована диодом $Д_2$ для устранения возможности пробоя транзистора T_1, работающего на индуктивную нагрузку. В цепи вторичной обмотки трансформатора включена неоновая лампа типа МН5. Могут быть применены неоновые лампы и других типов. При достижении уровня входного сигнала определенной величины (уровень регулируется потенциометром R_1)

на выходе вторичной обмотки импульсное напряжение достигает напряжения зажигания лампы и последняя начинает вспыхивать.

Если магнитофон имеет сквозной канал, то индикатор уровня включают на выход усилителя воспроизведения. В тех случаях, когда портативный магнитофон не имеет сквозного канала (магнитофон с универсальным усилителем), индикатор уровня включают для контроля по току записи. Для этого его подсоединяют параллельно цепи головки записи (до фильтра). Благодаря действию *RC* цепочки, включенной последовательно с записывающей головкой, ток записи будет пропорционален напряжению, измеренному в этом случае индикатором.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧИСЛА ОБОРОТОВ МИНИАТЮРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Назначение и особенности регулирования

В портативных магнитофонах, снабженных малогабаритными электродвигателями постоянного тока, поддержание постоянства оборотов вала электродвигателя вызывает определенные трудности.

Относительно большое внутреннее сопротивление источников питания портативных магнитофонов, постепенно уменьшающееся (из-за разрядки) напряжение питания, потери на трение в лентопротяжном механизме вызывают значительные колебания числа оборотов ведущего двигателя и соответственно неравномерное движение магнитной ленты.

В связи с указанными причинами для поддержания постоянства оборотов вала электродвигателя приходится применять ряд специальных мер. К этим мерам относятся:

использование источников питания с возможно меньшим внутренним сопротивлением (например, никель-кадмиевых аккумуляторов);

применение стабилизаторов напряжения питания с малым выходным сопротивлением;

тщательное регулирование лентопротяжного устройства для обеспечения постоянства нагрузки на вал электродвигателя;

применение специальных регуляторов числа оборотов электродвигателя.

Чаще всего для стабилизации числа оборотов применяют так называемое двухпозиционное регулирование. Действие регулятора при этом основано на том, что при увеличении числа оборотов сверх определенного значения последовательно в цепь питания якоря электродвигателя включается дополнительное сопротивление и ток яко-

ря вследствие этого падает, а значит, и уменьшается число оборотов. При уменьшении числа оборотов электродвигателя это сопротивление закорачивается и число оборотов возрастает. Точность стабилизации определяется чувствительностью датчика, определяющего число оборотов

В качестве датчиков можно использовать: центробежные выключатели, тахогенераторы, фотоэлектронные датчики, индуктивные датчики, датчики, основанные на измерении частоты пульсаций тока, потребляемого электродвигателем.

Практические схемы регуляторов

Рассмотрим подробно схемы регуляторов с различными датчиками.

Двухпозиционное регулирование при помощи центробежного выключателя. Контакты центробежного выключателя нормально замкнуты. При достижении электродвигателем оборотов, превышающих номинальные, контакты размыкаются, при уменьшении числа оборотов контакты вновь замыкаются.

При тщательном выполнении удается сконструировать центробежный выключатель, реагирующий на изменение числа оборотов на ±3—5%. Если последовательно с электродвигателем включить добавочное сопротивление (можно использовать обычную индикаторную лампочку 2,5—3,5 *в* с током питания, близким по величине к току, потребляемому электродвигателем) и производить с помощью контактов центробежного выключателя замыкание и размыкание этого сопротивления, мы получим простейший автоматический регулятор оборотов. В настоящее время такие простые регуляторы в портативных магнитофонах используются редко. Это объясняется тем, что в них через контакты центробежного выключателя проходит почти полный ток электродвигателя, что вызывает искрение и обгорание контактов. В связи с этим большее распространение получили автоматические регуляторы с применением транзистора в цепи регулирования (рис. 41). При снижении числа оборотов электродвигателя контакты центробежного выключателя *1—2* (рис. 41) замкнутся и на базу транзистора T_1 поступит большое отрицательное напряжение. Вследствие этого сопротивление участка эмиттер-коллектор становится малым, и ток в цепи якоря электродвигателя и его обороты возрастают При превышении номинального числа оборотов контакты *1—2* размыкаются и сопротивление эмиттер-коллектор возрастает до нескольких сотен тысяч ом Поскольку ток базы транзистора очень мал (приблизительно в β раз меньше тока коллектор эмиттер, где β — коэффициент усиления по напряжению) и обычно не превышает 2—10 *ма*, режим управления током

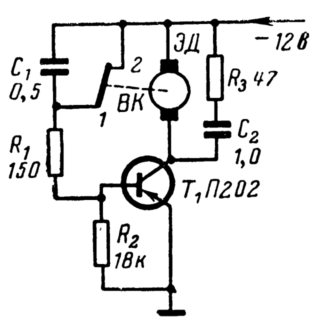


Рис. 41. Схема регулятора числа оборотов электродвигателя с центробежным выключателем.

якоря значительно облегчается, резко уменьшаются помехи от искрения при разрыве контактов и практически отсутствует их обгорание.

Применение подобного регулятора не позволяет получить стабильность оборотов лучшую, чем ±3—5%. Кроме того, миниатюрные электродвигатели с центробежными выключателями являются дефицитными и дорогими. Поэтому для любительских портативных магнитофонов можно рекомендовать электродвигатели без центробежных выключателей с автоматическими регуляторами, содержащими датчики других типов.

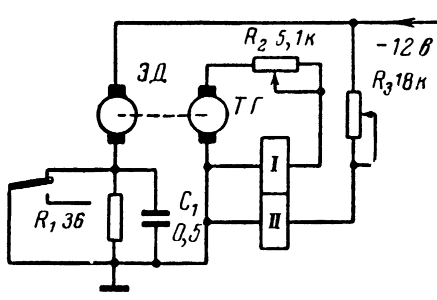


Рис. 42. Схема регулятора числа оборотов электродвигателя с тахогенератором.

Регулятор оборотов электродвигателя с использованием тахогенератора. В качестве датчика, реагирующего на изменение оборотов электродвигателя, можно использовать тахогенератор или обычный миниатюрный электродвигатель с постоянными магнитами. Тахогенератор механически связывают с валом электродвигателя портативного магнитофона (например, с помощью фрикционной передачи). При этом напряжение на выходе тахогенератора пропорционально числу оборотов основного двигателя, что позволяет создать простой регулятор, схема которого приведена на рис. 42. Последовательно с якорем регулируемого электродвигателя *ЭД* включен резистор R_1, который закорачивается контактами двухобмоточного реле с нейтральной настройкой контактов. С помощью потенциометра R_3 устанавливается опорный ток во второй обмотке реле, при этом контакты реле закорачивают резистор R_1. Последовательно с тахогенератором включена первая обмотка реле, ток которой регулируется потенциометром R_2 При достижении номинального числа оборотов ампер-витки первой обмотки превышают ампер-витки второй обмотки реле. Ампер-витки этих обмоток имеют противоположные знаки. В связи с этим контакты реле размыкаются и ток в цепи якоря электродвигателя и, следовательно, число оборотов электродвигателя уменьшаются. При уменьшении числа оборотов ниже номинального значения ампер-витки второй обмотки превышают ампер-витки первой обмотки, и контакты реле снова замыкают резистор R_1. Регулировка данной схемы осуществляется с помощью потенциометров R_2 и R_3. В качестве реле лучше всего использовать поляризованное реле с двумя обмотками. Данный регулятор обеспечивает такую же стабильность числа оборотов электродвигателя, как центробежный регулятор. Для уменьшения искрения и обгорания контактов поляризованного реле вместо резистора R_1 можно включить транзистор тем же способом, как на рис. 41 В этом случае ток, прерываемый контактами реле, уменьшается до нескольких миллиампер. Конденсатор C_1, изображенный на схеме (рис. 42), служит для уменьшения искрения контактов реле при размыкании.

При применении эмиттерного повторителя, включенного между тахогенератором и первой обмоткой реле, можно повысить стабиль-

ность оборотов электродвигателя до ±1—2% при условии питания второй обмотки реле от стабилизированного источника напряжения.

Регулятор оборотов электродвигателя с использованием фотоэлектрического датчика. В случае отсутствия тахогенератора или подходящего миниатюрного двигателя с постоянными магнитами в качестве чувствительного элемента регулятора можно применить фотоэлектрический датчик. Схема подобного регулятора приведена

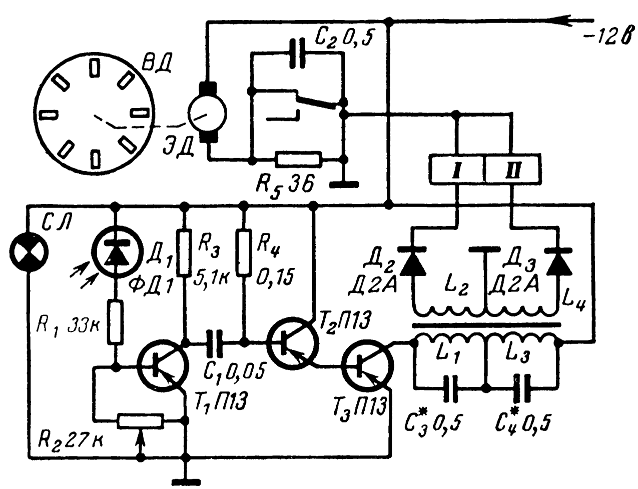


Рис. 43. Схема регулятора числа оборотов электродвигателя с фотоэлектронным датчиком.

на рис. 43. На валу электродвигателя портативного магнитофона установлен специальный вращающийся диск *ВД* с щелями, расположенными по окружности. С одной стороны диска устанавливается сигнальная маломощная лампочка *СЛ*, а с другой — фотосопротивление или фотодиод, например *ФД1* или *ФД2*. При вращении вала электродвигателя с диском фотодиод периодически освещается сигнальной лампой. Фотодиод включен в цепь смещения базы транзистора T_1. Нормально транзистор практически заперт, а при освещении фотодиода его сопротивление резко уменьшается и в коллекторной цепи формируется отрицательный импульс, длительность которого пропорциональна ширине щели на вращающемся диске *ВД* и обратно пропорциональна числу оборотов электродвигателя. Частота повторения связана с числом щелей и числом оборотов электродвигателя следующим соотношением:

$$F = \frac{n}{60} N,$$

где n — число оборотов электродвигателя в минуту;
N — число щелей на диске.

При одинаковой ширине щелей и одинаковых промежутках между ними в коллекторной цепи транзистора формируются симмет-

ричные прямоугольные импульсы. Эти импульсы усиливаются составным транзистором T_2T_3. В коллекторной цепи выходного транзистора включены два контура L_1C_3 и L_3C_4, настроенные соответственно на частоты F_1 и F_2, причем частота F_1 выбирается на 5% ниже, а частота F_2 на 5% выше частоты F, соответствующей номинальному числу оборотов электродвигателя. Таким образом, для получения сигнала рассогласования при изменении числа оборотов используется обычный частотный детектор на расстроенных контурах. Выпрямленное напряжение с обмотки связи L_2 подается на первую обмотку реле, а с обмотки связи L_2 на вторую обмотку реле. В качестве реле целесообразно использовать поляризованное реле с регулировкой контактов на преобладание в одну сторону. Действие ампер-витков второй обмотки реле совпадает с преобладанием контактов. Контакты реле закорачивают резистор R_5, включенный последовательно в цепь якоря электродвигателя *ЭД*.

Рассмотренный регулятор работает следующим образом. При включении напряжения питания электродвигатель начинает увеличивать число оборотов, так как нормально R_5 замкнуто. По мере увеличения оборотов увеличивается напряжение на контурах L_1 и L_2 и соответственно токи в обмотках *I* и *II*. После превышения числа оборотов n_1, соответствующего частоте F_1, напряжение на контуре L_1C_3 начинает уменьшаться, а на контуре L_3C_4 — продолжает увеличиваться до тех пор, пока ампер-витки обмотки *I* не превысят ампер-витки обмотки *II*, и контакты реле разомкнутся, что приведет к уменьшению тока якоря и, следовательно, к уменьшению числа оборотов электродвигателя. В дальнейшем контакты реле снова замкнут резистор R_5 и обороты электродвигателя начнут увеличиваться. В данной схеме, как и в предыдущей, вместо резистора R_5 можно включить транзистор, рассчитанный на пропускание тока электродвигателя *ЭД*. При тщательной настройке контуров дискриминатора и регулировке поляризованного реле удается обеспечить стабильность числа оборотов двигателя лучшую, чем ±1,0%. При среднем числе оборотов электродвигателя 1 800 *об/мин* и вращающемся диске с 60 щелями средняя частота следования импульсов оказывается равной 1 800 *гц*. Для этого конкретного случая катушки L_1 и L_3 намотаны на карбонильные сердечники СБ-3а и содержат по 900 витков провода ПЭЛ 0,1, катушки L_2 и L_4 намотаны соответственно поверх катушек L_1 и L_3 и содержат по 150 витков провода ПЭЛ 0,12.

Рассмотренная схема может найти широкое применение в автомобильных магнитофонах.

Регулятор оборотов электродвигателя с использованием индуктивного датчика. Если с валом электродвигателя магнитофона механически связать диск с несколькими постоянными магнитами, расположенными по его окружности (рис. 44), то частота напряжения на выходе индуктивного датчика будет равна:

$$F = \frac{n}{60}\gamma,$$

где γ — число пар полюсов магнитного диска.

Напряжение с выхода индуктивного датчика поступает на усилитель переменного тока, собранный на транзисторе T_1 (рис. 44). Нагрузкой усилителя является резистор R_3 и индуктивность L_2. С увеличением числа оборотов напряжение на индуктивности L_2

увеличивается и наоборот. Часть напряжения выпрямляется и подается на усилитель постоянного тока, собранный на транзисторе T_2, в коллекторную цепь которого включена первая обмотка реле. Вторая обмотка используется для создания опорных ампер-витков. В данном случае, так же как и в регуляторе, собранном по схеме, приведенной на рис. 42, используется поляризованное реле с двумя обмотками и нейтральной настройкой контактов. При включении

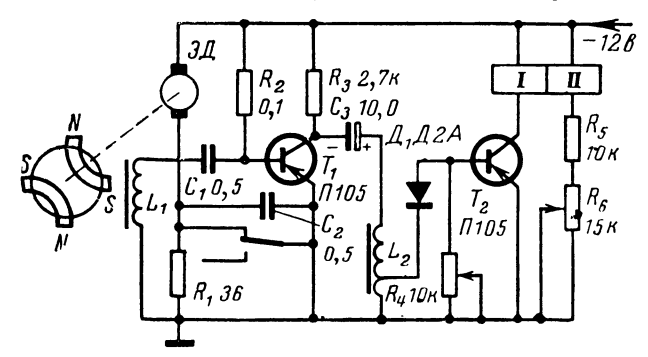


Рис. 44. Схема регулятора числа оборотов электродвигателя с индуктивным датчиком.

регулятора контакты реле закорачивают добавочный резистор R_1 и электродвигатель начинает увеличивать обороты. При достижении оборотов, превышающих номинальное значение, ампер-витки первичной обмотки превышают ампер-витки второй обмотки и контакты реле размыкаются, число оборотов двигателя начинает уменьшаться до тех пор, пока ампер-витки второй обмотки не превысят ампервитки первой. В этом случае контакты снова замыкают R_1 и обороты двигателя возрастают. Регулировка рассмотренной схемы осуществляется потенциометрами R_6 и R_4. Данный регулятор обеспечивает такую же стабильность числа оборотов электродвигателя, как и регуляторы, изображенные на рис. 41, 42.

Катушка L_1 намотана на сердечнике Ш-12, собранном с зазором, толщина набора 3 *мм*, обмотка состоит из 400 витков провода ПЭЛ 0,15. Катушка L_2 намотана на пермаллоевом сердечнике Ш-6, толщина набора 6 *мм*, обмотка состоит из 1 000 витков провода ПЭЛ 0,1 с отводом от 100-го витка, считая от заземленного конца контура.

Регулятор числа оборотов, основанный на измерении частоты пульсации тока якоря (рис. 45). Если последовательно в цепь якоря включить дроссель или сопротивление, то при вращении двигателя на них выделяются импульсы напряжения. Это вызвано изменением полного сопротивления цепи якоря при замыкании щетками двух или более соседних ламелей коллектора двигателя.

Частота следования импульсов связана с числом ламелей коллектора и числом оборотов электродвигателя следующим выражением:

$$F = \frac{n}{60}\eta,$$

где η — число ламелей коллектора (для случая, если ширина щетки меньше или равна ширине двух соседних ламелей).

Выделяя импульсы, усиливая и подавая их на частотный детектор с расстроенными контурами, получаем, так же как и в регуляторе с фотоэлектронным датчиком, сигнал рассогласования. Принципиальная схема регулятора приведена на рис. 45. Отличие этой схемы от схемы, приведенной на рис. 43, заключается в том, что последовательно в цепь якоря *ЭД* включены первичная обмотка трансформатора $Тр_1$ и резистор R_1. Вторичная обмотка этого трансформатора настроена в резонанс с частотой пульсаций F.

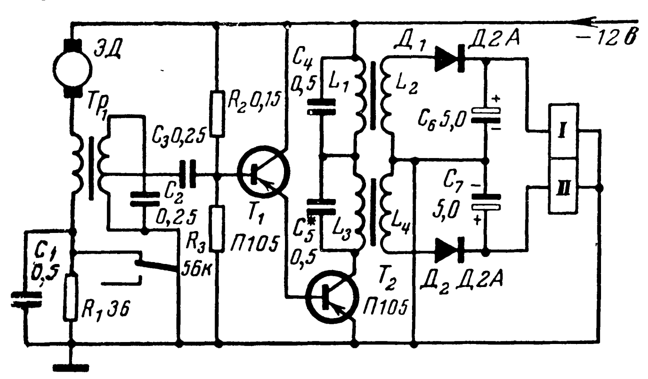


Рис. 45. Схема регулятора числа оборотов электродвигателя, основанного на выделении частоты пульсаций.

Для среднего числа оборотов электродвигателя 1 800 *об/мин* и 11 ламелей коллектора средняя частота пульсации тока якоря равна 330 *гц*. В этом случае обмотки трансформатора $Тр_1$ должны быть намотаны на пермаллоевом сердечнике Ш-6, толщина набора 10 *мм*, первичная обмотка состоит из 100 витков провода ПЭЛ 0,35, вторичная из 1 000 витков провода ПЭЛ 0,1 с отводом от 100-го витка, считая от заземленного конца вторичной обмотки. Катушки L_1, L_2 и L_3, L_4 также намотаны на пермаллоевом сердечнике Ш-6, толщина набора 6 *мм* и содержат соответственно по 1 000 и 200 витков провода ПЭЛ 0,1.

Регулятор, собранный по данной схеме, обеспечивает такую же стабилизацию числа оборотов, что и регулятор с фотоэлектронным датчиком, т. е. лучше, чем $\pm 1\%$.

На основании рассмотрения схем, приведенных на рис. 44 и 45, можно рекомендовать радиолюбителям еще одну схему регулятора числа оборотов электродвигателя портативного магнитофона. В предлагаемой схеме используются импульсы тока, вызываемые замыканием соседних ламелей коллектора щетками электродвигателя (см. рис. 45). Импульсы, выделяемые трансформатором $Тр_1$, поступают на усилитель, собранный на транзисторе T_1 (рис. 44). Напряжение на индуктивности L_2 в предыдущей схеме пропорционально рабочей частоте. В остальном схема полностью идентична рассмотренной ранее.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 4
Глава первая. **Блок-схемы портативных магнитофонов** . 5
Глава вторая. **Усилители воспроизведения** 8
Назначение и особенности усилителей воспроизведения . 8
Частотные характеристики усилителей воспроизведения и схемы частотной коррекции 11
Практические схемы усилителей воспроизведения . . 16
Выходные усилители 19
Глава третья. **Усилители записи** 23
Назначение и особенности усилителей записи . . . 23
Выходные каскады усилителей записи 24
Частотные характеристики и схемы усилителей записи . 27
Практические схемы усилителей записи 30
Глава четвертая. **Универсальные усилители** . . . 33
Возможные варианты универсальных усилителей . . 33
Особенности схем коррекции частотных характеристик усилителей 34
Практические схемы универсальных усилителей . . . 37
Глава пятая. **Генераторы токов стирания и подмагничивания** 41
Основные особенности и требования 41
Практические схемы генераторов 42
Глава шестая. **Индикаторы уровня записи** 46
Требования, предъявляемые к индикаторам уровня записи 46
Практические схемы индикаторов уровня записи . . 48
Глава седьмая. **Регулирование числа оборотов миниатюрных электродвигателей постоянного тока** . . . 50
Назначение и особенности регулирования 50
Практические схемы регуляторов 51

Цена 17 коп.